

# CASSY® Lab

# Handbuch (524 201)

## Copyright

Die freigeschaltete Software darf nur vom Käufer und ausschließlich zum Gebrauch für den von der Schule oder Institution erteilten Unterricht genutzt werden! Das schließt die Nutzung für die häusliche Vorbereitung ein.

Es ist unzulässig, den Freischaltcode an Kollegen anderer Schulen oder Institutionen weiterzugeben.

Die Firma LEYBOLD DIDACTIC GmbH behält sich gerichtliche Schritte bei Verstößen gegen diese Regelung vor.

CASSY® ist eine eingetragene Marke der Firma LEYBOLD DIDACTIC GmbH.

| | |
|---|---|
| Handbuchautoren: | Dr. Michael Hund |
| | Dr. Karl-Heinz Wietzke |
| | Dr. Timm Hanschke |
| | Mark Metzbaur |
| | Barbara Neumayr |
| | Bernd Seithe |
| Grafik: | Oliver Nießen |
| Stand: | 28.01.02 |

# Inhalt

## Einleitung

Dieses Handbuch soll einen Überblick über die Möglichkeiten der Software CASSY Lab geben. Es ist textidentisch mit den Hilfen, die auch im Programm praktisch jederzeit per Mausklick erreichbar sind.

Die im Programm enthaltenen Hilfen bieten zusätzliche Erleichterungen:

- Verweise können direkt mit der Maus angesprungen werden
- Versuchsbeispiele und Einstellungen werden einfach per Mausklick geladen
- Neben einer Indexsuche ist auch eine Volltextsuche möglich

### Installation

Die Installation von CASSY Lab erfolgt entweder

- automatisch nach Einlegen der CD-ROM oder
- manuell durch Start der Datei **autorun.exe**

und durch Befolgen der Bildschirmmitteilungen.

## Wichtige Informationen nach der Installation von CASSY Lab

### Nutzung der Software mit CASSY-S (Sensor-CASSY, Power-CASSY und CASSY-Display)

Beim ersten Start von CASSY Lab sollten Sie Ihren Freischaltcode angeben, wie Sie ihn auf Ihrem Lieferschein und Ihrer Rechnung auf einem separaten Blatt unter der Nummer 524 200 finden. Dann unterstützt die Software das CASSY-S uneingeschränkt (sonst nur max. 20 mal).

### Nutzung der Software mit seriellen Messgeräten

CASSY Lab unterstützt andere serielle Messgeräte ohne Freischaltcode.

### Handbuch

Zu CASSY Lab gibt es ein umfangreiches Handbuch. Zur optimalen Nutzung von CASSY Lab ist es unerlässlich, sich ausgiebig mit diesem Handbuch zu befassen. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Handbuch von CD-ROM laden (**autorun.exe** starten)
- Gedrucktes Handbuch (524 201) bestellen
- ☐ Handbuch aus dem Internet laden (im Adobe PDF-Format)
- Hilfe im Programm nutzen (textidentisch mit gedrucktem Handbuch, kontextbezogen und mit vielen Verweisen und erweiterten Suchmöglichkeiten)

### Erste Schritte

☐ Einführung anzeigen

☐ Versuchsbeispiele anzeigen

Die mitgelieferten Versuchsbeispiele können auch ohne CASSY gelesen und für weitere Auswertungen genutzt werden. Die bei den Beispielen gewählten Programmeinstellungen können für neue Messungen genutzt bzw. an diese angepasst werden.

### Updates

CASSY Lab wird zukünftig erweitert – nicht zuletzt aufgrund von Erfahrungen und Rückmeldungen der Anwender.

☐ Update aus dem Internet laden

## Eigene Software für CASSY-S

Sie können CASSY-S auch selbst programmieren. Dazu haben wir im Internet die Beschreibung des Protokolls der Schnittstelle sowie eine Delphi-Komponente (mit Source-Code) zum kostenlosen Download bereitgestellt.

- Developer Information aus dem Internet laden



# CASSY Lab

## Einführung

CASSY Lab unterstützt ein oder mehrere CASSY-S-Module (Sensor-CASSY, Power-CASSY und CASSY-Display) am USB-Port (ab Windows 98/2000) oder an der seriellen Schnittstelle (ab Windows 95/NT) des Computers. Außerdem werden diverse andere serielle Messgeräte unterstützt. Bei der ersten Verwendung von CASSY oder eines anderen Geräts fragt CASSY Lab nach der seriellen Schnittstelle (COM1 bis COM4). Sie muss angegeben und sollte als Vorgabe abgespeichert werden. Für CASSYs am USB-Port (ab Windows 98/2000) muss keine serielle Schnittstelle angegeben werden - sie werden automatisch gefunden. Wenn CASSY verwendet wird, wird nach einem Freischaltcode gefragt.

## Freischaltcode

Soll CASSY Lab zusammen mit CASSY eingesetzt werden, so ist dafür ein 24-stelliger Freischaltcode erforderlich. Dieser Freischaltcode ist auf der Rechnung und dem Lieferschein auf einem separaten Blatt unter der Nummer 524 200 zu finden und muss zusammen mit dem dort angegebenen Namen einmal eingegeben werden. Danach ist die Software für CASSY freigeschaltet. Bitte beachten Sie unser Copyright.

Soll dagegen CASSY Lab nur mit anderen seriellen Geräten verwendet werden, ist dazu **kein** Freischaltcode erforderlich.

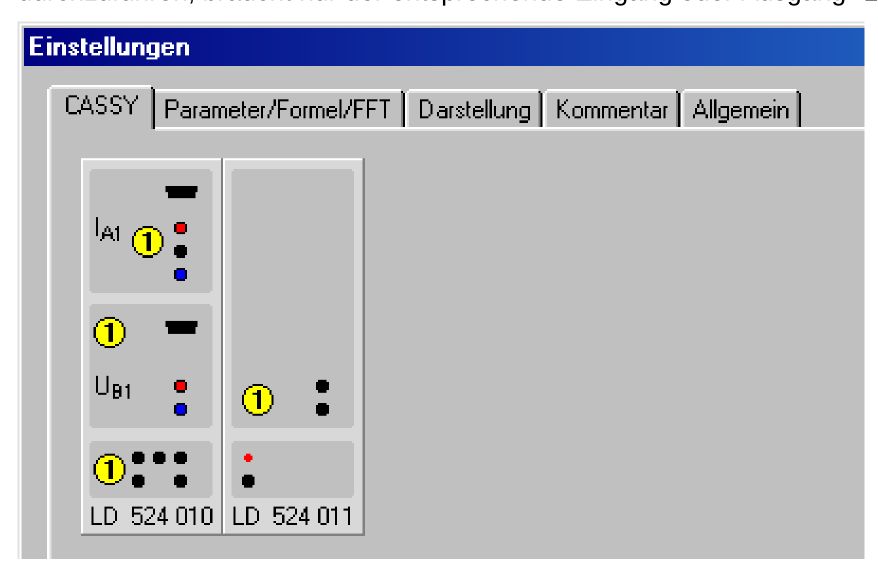
Sollte Ihnen der Freischaltcode fehlen, faxen Sie bitte die Rechnung über CASSY Lab (524 200) an +49-2233-604607. Es wird Ihnen dann sobald wie möglich Ihr Freischaltcode zurückgefaxt. Für eine Übergangszeit lässt sich CASSY Lab auch noch ohne Freischaltung mit CASSY verwenden (max. 20 Nutzungen).

Auch zukünftige Versionen, die beispielsweise im Internet bereitgestellt werden, nutzen diese Freischaltung. Auch Updates sind damit uneingeschränkt verwendbar.

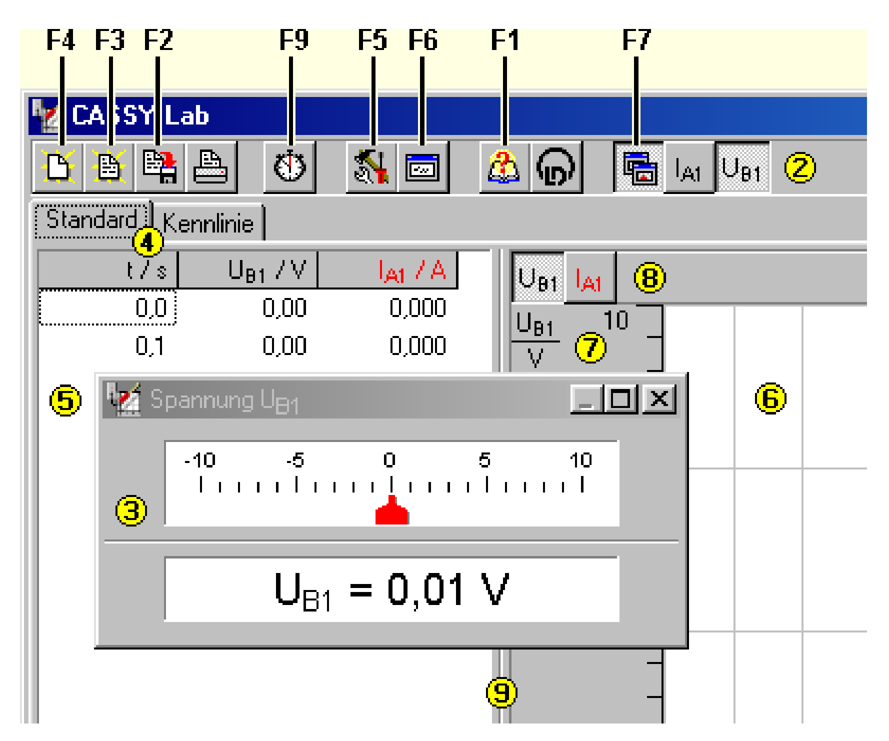
❑ Update aus dem Internet laden

## Erste Messwerte

Wenn ein oder mehrere CASSYs erkannt worden sind, zeigt die CASSY-Seite des Einstellungsfensters (**F5**) die aktuelle Konfiguration (mit eventuell aufgesteckten Sensorboxen). Um eine Messung durchzuführen, braucht nur der entsprechende Eingang oder Ausgang ① angeklickt zu werden:




Ein aktiver Ein- oder Ausgang (Kanal) wird danach farbig markiert und als Button rechts oben zu den Speed-Buttons ② des Hauptfensters einsortiert (hier $I_{A1}$ und $U_{B1}$). Diese Buttons stellen die einfachste Möglichkeit dar, ein Anzeigeinstrument ③ des Kanals anzuzeigen oder zu schließen (linke Maustaste) oder seine Einstellungen zu verändern (rechte Maustaste). Außerdem erscheint der Kanal anfangs automatisch in der Tabelle ⑤ und im Diagramm ⑥.




Die grundsätzlichen Funktionen lassen sich gezielt mit den Speed-Buttons ② in der oberen Zeile ausführen. Die wichtigsten Speed-Buttons lassen sich auch mit den Funktionstasten bedienen.

Darunter lässt sich durch Anklicken einer der Darstellungsseiten ④ die Darstellung der Tabelle ⑤ und des Diagrams ⑥ umschalten, wenn unterschiedliche Darstellungsarten definiert wurden (hier **Standard** und **Kennlinie**). Tabelle und Diagramm können gegeneinander durch Verschieben der Trennlinie ⑨ mit der Maus vergrößert oder verkleinert werden.

An vielen Stellen haben **beide** Maustasten (links und rechts) eine entscheidende Funktion:

| **Bedienelement** | **Linke Maustaste** | **Rechte Maustaste** |
|---|---|---|
| ① CASSY-Anordnung | Anschalten und Ändern eines Kanals | Anschalten und Ändern eines Kanals |
| ② Kanal-Button | Öffnen und Schließen des Anzeigeinstruments, Drag & Drop nach ⑤ bis ⑧ | Einstellungen des Kanals |
| ③ Anzeigeinstrument | Verschieben der Trennlinie Analog- zu Digitalanzeige, Drag & Drop der Werte nach ⑤ | Einstellungen des Kanals |
| ④ Name der Darstellung | Umschalten in eine andere definierte Darstellung | |
| ⑤ Tabelle | Editieren von Messwerten, Drag & Drop der Werte innerhalb der Tabelle oder der Kanäle nach ② | Darstellung der Tabelle, z. B. Schriftgröße, Löschen von Zeilen und Messreihen |
| ⑥ Diagramm | Markieren von Auswertungsbereichen | Einstellungen und Auswertungen im Diagramm |
| ⑦ Skala | Verschieben der Skala | Minimum, Maximum und Umrechnung der Skala festlegen |
| ⑧ Achsensymbole | Umschalten der y-Skala, Drag & Drop nach ② | Einstellungen des Kanals |
| ⑨ Trennlinie | Verschieben der Trennlinie Tabelle zu Diagramm | |

Auch die Tastenbelegung der Speed-Buttons ② erleichtert oft die Arbeit:

 **F4**

Löscht entweder die aktuelle Messung unter Beibehaltung ihrer Einstellungen oder, wenn keine Messung vorhanden ist, die aktuellen Einstellungen.

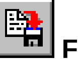
Eine zweimalige Anwendung löscht eine Messung mit ihren Einstellungen.

 **F3**

Lädt eine Messreihe mit ihren Einstellungen und ihren Auswertungen.

Dabei kann die Messreihe auch an eine vorhandene Messreihe angehängt werden (ohne ihre Einstellungen und Auswertungen mit zu laden). Dies ist möglich, wenn die Messreihen die gleichen Messgrößen besitzen. Alternativ kann eine weitere Messreihe auch nachträglich gemessen und angehängt werden.

Außerdem steht ein ASCII-Import-Filter (Dateityp ***.txt**) zur Verfügung.

 **F2**

Speichert die aktuellen Messreihen mit ihren Einstellungen und ihren Auswertungen ab.

Es lassen sich auch reine Einstellungen (ohne Messdaten) abspeichern, mit denen dann später ein Experiment einfach wiederholt werden kann.

Außerdem steht ein ASCII-Export-Filter (Dateityp ***.txt**) zur Verfügung. Aber auch die CASSY Lab-Dateien (Dateityp ***.lab**) sind mit jedem Texteditor lesbar.



Druckt die aktuelle Tabelle oder das aktuelle Diagramm aus.

 **F9**

Startet und stoppt eine neue Messung.

Alternativ kann die Messung durch die Vorgabe einer Messzeit gestoppt werden.

 **F5**

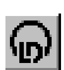
Ändert die aktuellen Einstellungen (z. B. CASSY, Parameter/Formel/FFT, Darstellung, Kommentar, Serielle Schnittstelle). Für die Messparameter muss diese Funktion **doppelt** betätigt werden.

 **F6**

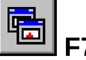
Stellt den Inhalt der Statuszeile groß dar oder blendet ihn wieder aus.

 **F1**

Ruft diese Hilfe auf.



Gibt Auskunft über die Version der Software und ermöglicht die Eingabe des Freischaltcodes.

 **F7**

Schließt alle geöffneten Anzeigeinstrumente oder öffnet sie wieder.

**ASCII-Export und Import**

Wählt man im Dateiauswahlfenster als Dateityp ***.txt**, dann ist bequem der Export- und Import von ASCII-Dateien möglich.

Das Datenformat beginnt mit einem Header, in dem alle Zeilen wiederum mit einem Schlüsselwort beginnen. Dadurch werden Messbereiche (MIN, MAX), Skalierungen (SCALE), Anzahl signifikanter Nachkommastellen (DEC) und die eigentliche Definition der Messgrößen (DEF) festgelegt. Bis auf die DEF-Zeile sind alle Zeilen optional. Nach dem Header folgt die eigentliche Messwerttabelle.

Die genaue Syntax ist z. B. der Datei anzusehen, die bei einem Datenexport entsteht.

**Statuszeile**

In die Statuszeile am unteren Bildschirmrand werden Auswertungsergebnisse eingetragen. Diese Ergebnisse lassen sich durch Drücken von oder **F6** auch in einem größeren Fenster darstellen bzw. wieder ausblenden.

**Drag & Drop**

Die Auswertungsergebnisse der Statuszeile lassen sich mit der Maus in die Tabelle ziehen (Drag & Drop). Auf diese Weise lassen sich Diagramme erstellen, die von Auswertungsergebnissen abhängen.



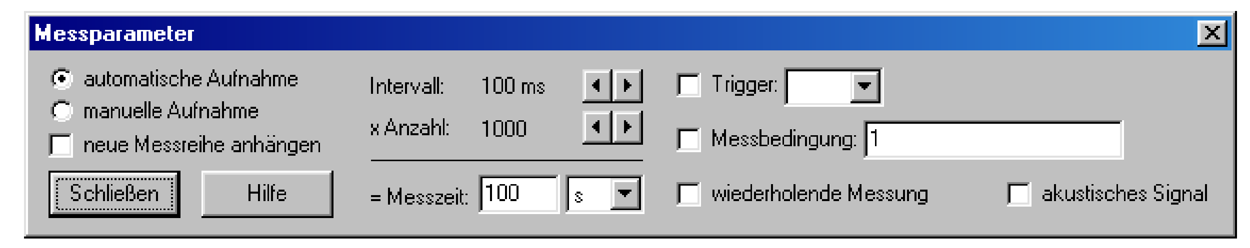
## Messung


**F9**

Startet (und stoppt) eine neue Messung. Während oder nach einer Messung öffnet die rechte Maustaste in der Tabelle das Tabellendarstellungsmenü und im Diagramm das Auswertungsmenü.


**F5**

Gibt die Möglichkeit zur Änderung der Einstellungen und der Messparameter (bei **doppelter** Betätigung), durch welche die Messung selbst gesteuert wird:




Die Vorgaben in diesem Fenster hängen von den aufgesteckten Sensorboxen ab. Das vereinfacht die Anpassung an eine spezielle Messaufgabe, weil sensorboxtypische Einstellungen bereits durchgeführt worden sind. Bei Messungen mit der **VKA-Box** sieht dieses Fenster anders aus.

### Automatische Aufnahme

Die Software entscheidet über den exakten Zeitpunkt einer Messwertaufnahme. Nach dem Start der Messung (z. B. mit **F9)** wird zunächst auf einen eventuell eingestellten **Trigger** gewartet und danach jeweils nach Ablauf des angegebenen Zeitintervalls eine Messwertzeile aufgenommen. Das **Intervall**, die **Anzahl** der Messpunkte pro Messung sowie die gesamte **Messzeit** können vorher den Erfordernissen angepasst werden. Dabei kann mit **wiederholende Messung** eine fortlaufende Anzeige erreicht werden.

Bei Zeitintervallen ab 100 ms wird zusätzlich zum Trigger auch die **Messbedingung** ausgewertet und eventuell ein **akustisches Signal** bei Messwertaufnahme abgegeben. Die Messbedingung ist eine Formel. Ein Formelergebnis ungleich 0 bedeutet AN=„Messwertaufnahme möglich“, ein Formelergebnis gleich 0 bedeutet AUS=„Messwertaufnahme blockiert“. Der Messvorgang läuft dann solange die Messung gestartet ist **und** das Ergebnis der Formel AN ist. Wird z. B. die Messung am 21.4.1999 zwischen 13:00 Uhr und 14:00 Uhr erwünscht, so kann die Formel lauten: date = 21.4.1999 and time >= 13:00 and time <= 14:00.

Bei einigen Messgrößen (z. B. Rate, Frequenz, Laufzeit, Dunkelzeit, Weg bei Verwendung der GM-Box oder der Timer-Box) wertet die Software das angegebene Zeitintervall nicht aus. In diesem Fall wird die Messung von der Torzeit oder den Messimpulsen selbst gesteuert.

### Manuelle Aufnahme

Der Anwender entscheidet über den exakten Zeitpunkt einer Messwertaufnahme. Bei jedem Start (z. B. mit **F9**) wird genau **eine** Messwertzeile aufgenommen, d. h. die aktuellen Anzeigewerte der Instrumente in die Tabelle und in das Diagramm übernommen. Für eine komplette Messreihe ist daher eine wiederholte manuelle Aufnahme erforderlich.

### Neue Messreihe anhängen

Ermöglicht die aufeinanderfolgende Aufnahme mehrerer Messreihen. Alle Messreihen werden gleichzeitig in der Tabelle und im Diagramm dargestellt. Dabei wird für die Darstellung einer weiteren Messreihen jeweils eine andere Farbe verwendet.

Alternativ können die einzelnen Messreihen auch erst nacheinander aufgenommen und einzeln abgespeichert werden. Beim Laden mehrerer vergleichbarer Messreihen (mit gleichen Messgrößen) können Messreihen auch nachträglich noch angehängt werden.

**Messwerte ändern und löschen / Parametereingabe**

Alle Messwerte (außer Zeit und Formeln) können in der Tabelle editiert werden. Dazu wird die Messwertzelle angeklickt und mit der Tastatur der Zahlenwert editiert. Das ist auch die einzige Möglichkeit, einen Parameter in die Tabelle einzugeben.

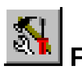
Zum Löschen von Messwerten gibt es zwei Möglichkeiten. Im Kontextmenü (rechte Maustaste) der Tabelle können die jeweils letzten Tabellenzeilen oder ganze (angehängte) Messreihen gelöscht werden.

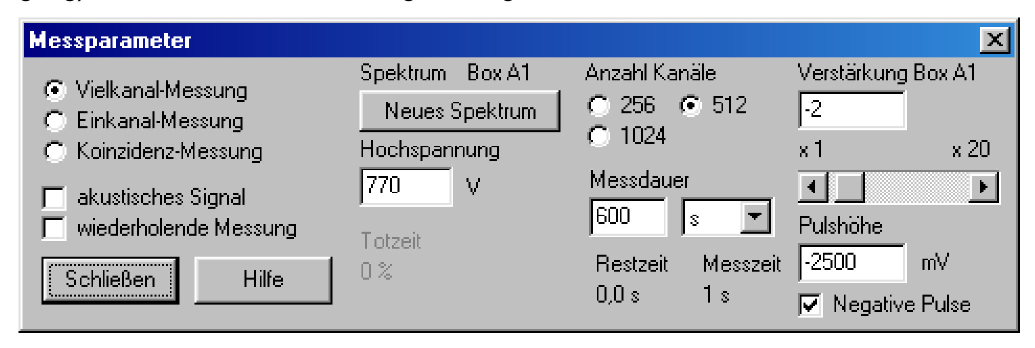
## Messung (VKA-Box)

 **F9**

Startet (und stoppt) eine neue Messung. Während oder nach einer Messung öffnet die rechte Maustaste in der Tabelle das Tabellendarstellungsmenü und im Diagramm das Auswertungsmenü.

 **F5**

Gibt die Möglichkeit zur Änderung der Einstellungen und der Messparameter (bei **doppelter** Betätigung), durch welche die Messung selbst gesteuert wird:




Dies ist die zentrale Steuerstelle einer Messung mit der VKA-Box. Allgemeine Einstellungen wie die Messzeit werden im linken Teil des Fensters vorgenommen. Je nach gewählten Messmodus (Vielkanal, Einkanal, Koinzidenz) können im rechten Teil des Fensters andere Optionen eingestellt werden.

### Vielkanal-Messung (VKA)

Die Anzahl der Kanäle, die Messzeit und die Verstärkung der Box werden im rechten Teil des Fensters eingestellt. Das beste Ergebnis wird bei Verstärkungseinstellungen von 1, 2, 5 oder 10 erreicht oder leicht darüber. Eine rote Schrift bedeutet eine falsche Vorgabe.

### Einkanal-Messung

Die Anzahl der Kanäle wird durch die Anzahl der Messpunkte ersetzt, die nacheinander gemessen werden.

Die Messdauer und die Messzeit pro Punkt beeinflussen sich gegenseitig über die Anzahl der Messpunkte.

Die Breite des Messfensters für jede Einzelmessung kann wahlweise in Prozent des vollen Messbereiches oder über den Abstand zweier Messpunkte angegeben werden.

Die Verstärkung wird wie im Vielkanal-Modus eingestellt.

### Koinzidenz-Messung

Hier werden zwei VKA-Boxen auf einem CASSY eingesetzt. Eine davon nimmt ein Vielkanal-Spektrum auf, aber nur, wenn gleichzeitig Impulse im Koinzidenz-Fenster der anderen Box registriert werden (Koinzidenz) oder wenn keine Impulse registriert werden (Anti-Koinzidenz).

Der prinzipielle Messmodus entspricht der Vielkanal-Messung, die Einstellungen für die Anzahl der Kanäle und die Verstärkung in der Mitte des Fensters gelten für die Box, welche das Spektrum aufnimmt.

Rechts davon werden die Parameter für die Koinzidenz eingestellt. Die minimale und maximale Impulshöhe des Fensters werden in Prozent des Messbereiches angegeben. Über den Knopf **Zeigen** kann ein Bereich in einem zuvor mit dieser (!) Box gemessenen Spektrum markiert und als Fenster übernommen werden.

## Tabellendarstellung ändern

Die Darstellung der Tabelle lässt sind nach einem Klick mit der rechten Maustaste in der Tabelle ändern. Einzelne Messwerte lassen sich nach dem Anklicken mit der linken Maustaste ändern oder auf andere Messwertzellen ziehen (Drag & Drop).

- Spaltenbelegung ändern
- Schriftgröße wählen
- Letzte Tabellenzeile löschen
- Letzte Messreihe löschen
- Tabelle/Fenster kopieren

### Spaltenbelegung ändern

Ruft das Darstellungsfenster auf. Dort kann die Belegung der x-Spalte und der bis zu 8 y-Spalten der Tabelle geändert werden. Auch eine Umrechnung der Spalten ist dort möglich.

Alternativ kann die Spaltenbelegung durch Drag & Drop zwischen den Kanal-Buttons und dem Tabellenkopf geändert werden.

### Schriftgröße wählen

Die Schriftgröße der Tabelle ist einstellbar. Zur Auswahl steht eine kleine, mittlere und eine große Schrift.

Die aktuelle Einstellung kann als Vorgabe für weitere Starts des Programms in den Allgemeinen Einstellungen abgespeichert werden.

### Letzte Tabellenzeile löschen

Löscht die jeweils letzte Zeile in der Tabelle. Dabei werden auch die nicht sichtbaren Werte anderer Kanäle gelöscht, die gleichzeitig aufgenommen worden sind. Alternativ können ganze Messreihen gelöscht werden.

Dies ist dafür gedacht, eine Fehlmessung bei manueller Aufnahme zu löschen.

### Abkürzung

Tastatur: Alt + L

### Letzte Messreihe löschen

Löscht die jeweils letzte Messreihe in der Tabelle. Dabei werden auch die nicht sichtbaren Werte anderer Kanäle gelöscht, die gleichzeitig aufgenommen worden sind. Alternativ können auch letzte Tabellenzeilen gelöscht werden.

Dies ist dafür gedacht, eine Fehlmessung bei automatischer Aufnahme zu löschen.

### Zwischenablage

Mit **Tabelle kopieren** und **Fenster kopieren** kann die Tabelle als Text und das Hauptfenster als Bitmap in die Zwischenablage von Windows kopiert werden. Dort stehen sie dann zur Weiterverarbeitung anderen Windows-Programmen zur Verfügung.

## Grafische Auswertungen

Die zahlreichen grafischen Auswertungen sind nach einem Klick mit der rechten Maustaste im Diagramm zugänglich.

- Achsenbelegung ändern
- Koordinaten anzeigen
- Linienbreite wählen
- Werteanzeige wählen
- Skalierung wählen
- Raster einblenden
- Zoomen
- Zoom ausschalten
- Markierung setzen
- Text
- Senkrechte Linie
- Waagerechte Linie
- Differenz messen
- Mittelwert einzeichnen
- Anpassung durchführen
- Integral berechnen
- Poissonverteilung berechnen
- Gaußverteilung berechnen
- Peakschwerpunkt berechnen
- Gaußkurven anpassen
- Äquivalenzpunkt bestimmen
- Systole und Diastole bestimmen
- Diagramm/Fenster kopieren

### Markieren eines Kurvenbereiches

Für einige Auswertungen ist es erforderlich, einen Kurvenbereich zu markieren, für den die Auswertung berechnet werden soll.

Dazu bewegt man den Mauszeiger bei gedrückter linker Maustaste vom Anfang bis zum Ende des Kurvenbereichs. Alternativ kann auch der Anfangs- und der Endpunkt angeklickt werden.

Während der Markierung des Kurvenbereichs erscheint der markierte Bereich grün.

### Achsenbelegung ändern

Ruft das Darstellungsfenster auf. Dort kann die Belegung der x-Achse und der bis zu 8 y-Achsen geändert werden. Auch eine Umrechnung der Achsen ist dort möglich.

Alternativ kann die Achsenbelegung durch Drag & Drop zwischen den Kanal-Buttons und dem Diagramm geändert werden.

### Koordinaten anzeigen

Nach dem Einschalten dieser Funktion enthält die Statuszeile die aktuellen Koordinaten des Mauszeigers, wenn dieser sich in einem Diagramm befindet. Die Koordinatenanzeige ist solange aktiv, bis sie durch die erneute Wahl dieses Menüpunkts wieder ausgeschaltet wird oder eine der Auswertungen Markierung setzen, Mittelwert einzeichnen, Anpassung durchführen, Integral berechnen oder eine der weiteren Auswertungen ein Ergebnis in die Statuszeile schreibt.

Die aktuellen Koordinaten können auch in das Diagramm geschrieben werden. Dabei muss der Menüpunkt Text mit Alt+T über die Tastatur aufgerufen werden, ohne die Position des Mauszeigers zu verändern, da sonst die falschen Koordinaten übernommen werden.

Die aktuelle Einstellung kann als Vorgabe für weitere Starts des Programms in den Allgemeinen Einstellungen abgespeichert werden.

### Abkürzung

Tastatur: Alt + K

### Linienbreite wählen

Die Linienbreite für die Anzeige des Diagramms und der darin durchgeführten Auswertungen ist einstellbar. Zur Auswahl stehen schmale, mittelbreite und dicke Linien.

Die aktuelle Einstellung kann als Vorgabe für weitere Starts des Programms in den Allgemeinen Einstellungen abgespeichert werden.

### Werteanzeige wählen

Es stehen vier verschiedene Funktionen zur Verfügung, um die Anzeige der Werte zu beeinflussen.

| | |
|---|---|
| **Werte einblenden** | Quadrate, Dreiecke, Kreise, Rauten, ... |
| **Verbindungslinien einblenden** | Verbindungslinien zwischen den Messpunkten |
| **Balken einblenden** | Messwertbalken |
| **Achsen einblenden** | Nulllinie der x- und y-Achse |

Die aktuelle Einstellung kann als Vorgabe für weitere Starts des Programms in den Allgemeinen Einstellungen abgespeichert werden.

### Skalierung wählen

Im Diagramm kann die Skalierung aus- und links-oben oder links-unten eingeblendet werden.

Die aktuelle Einstellung kann als Vorgabe für weitere Starts des Programms in den Allgemeinen Einstellungen abgespeichert werden.

### Raster einblenden

Im Diagramm kann ein Raster aus- und wieder eingeblendet werden.

Die aktuelle Einstellung kann als Vorgabe für weitere Starts des Programms in den Allgemeinen Einstellungen abgespeichert werden.

### Zoomen

Nach Aktivierung dieses Menüpunkts, muss der Bereich definiert werden, der vergrößert werden soll. Das geschieht mit der linken Maustaste.

Eine bereits gezoomte Darstellung lässt sich auch weiter zoomen. Ein Zoom kann anschließend durch Zoom ausschalten wieder zurückgesetzt werden.

#### Abkürzung

Tastatur: Alt + Z

### Zoom ausschalten

Setzt den aktuell gewählten Ausschnitt des Diagramms wieder in seine Ausgangsgröße zurück.

#### Abkürzung

Tastatur: Alt + A

### Energiekalibrierung (VKA-Box)

Aufgenommene Spektren sind zunächst in Kanäle eingeteilt. Ordnet man einem oder zwei Kanälen eine Energie zu, so kann auch eine Darstellung über der Energie gewählt werden. Nach Aufruf der Energiekalibrierung kann mit der Maus eine Markierung gesetzt werden, der entsprechende Kanal wird in der Dialogbox eingetragen. Alternativ kann man nach einem Klick in das Dialogfenster auch die Kanäle von Hand eintragen. Als dritte Möglichkeit bietet sich die Anpassung einer Gaußfunktion an, deren Ergebnis man dann mittels Drag & Drop aus der Statuszeile in der Dialogbox ablegt. Beide Auswahlboxen für die Energien enthalten bereits Vorgaben für die üblichen radioaktiven Präparate.

Wenn die Option **globale Energiekalibrierung** gewählt ist, gelten die eingetragenen Werte für alle bisher aufgenommenen und zukünftigen Spektren dieser Messreihe. Wenn diese Option nicht gewählt ist, so gilt die Kalibrierung für das eingetragene Spektrum und zukünftige Spektren dieser Reihe. Die Kalibrierung wird verworfen, wenn das Programm beendet wird, die VKA-Box gewechselt oder die

Verstärkung der Box verändert wird. Wenn schon kalibrierte Spektren vorliegen, kann deren Kalibrierung übernommen werden.

#### Abkürzung

Tastatur: Alt + E

### Markierung setzen

Es stehen vier verschiedene Markierungsfunktionen zur Verfügung. Die Markierungen können durch Doppelklick mit der linken Maustaste auf die jeweilige Markierung editiert bzw. verschoben und wieder aus dem Diagramm gelöscht werden.

#### Alt+T: Text

Mit der Textfunktion kann das Diagramm an beliebigen Stellen mit frei wählbarem Text beschriftet werden. Nach der Texteingabe ist der Text nur noch an die gewünschte Stelle zu verschieben und mit der linken Maustaste zu platzieren.

Nach allen Auswertungen, die in der Statuszeile Zahlenwerte als Ergebnis geliefert haben, werden diese Zahlenwerte als Textvorschlag angegeben, der übernommen, editiert oder verworfen werden kann.

#### Alt+S: Senkrechte Linie

Mit dieser Funktion lassen sich beliebig positionierbare senkrechte Linien in das Diagramm einzeichnen. Die Position wird in der Statuszeile eingetragen. Eine eventuell dort platzierte Koordinatenanzeige wird dabei ausgeschaltet.

#### Alt+W: Waagerechte Linie

Mit dieser Funktion lassen sich beliebig positionierbare waagerechte Linien in das Diagramm einzeichnen. Die Position wird in der Statuszeile eingetragen. Eine eventuell dort platzierte Koordinatenanzeige wird dabei ausgeschaltet.

#### Alt+D: Differenz messen

Nach Anklicken eines Bezugspunktes können beliebige Linien in das Diagramm eingezeichnet werden. Die Koordinatendifferenz zwischen Start- und Endpunkt der jeweiligen Linie wird in der Statuszeile eingetragen. Eine eventuell dort platzierte Koordinatenanzeige wird dabei ausgeschaltet.

### Mittelwert einzeichnen

Nach Wahl der Mittelwertberechnung muss noch mit der linken Maustaste der Kurvenbereich gewählt werden, für den der Mittelwert berechnet werden soll. Der Mittelwert wird zusammen mit seinem statistischen Fehler in der Statuszeile eingetragen. Eine eventuell dort platzierte Koordinatenanzeige wird dabei ausgeschaltet.

Der aktuelle Mittelwert kann auch als Text in das Diagramm geschrieben werden. Durch Doppelklick auf eine Mittelwertlinie kann diese wieder aus dem Diagramm gelöscht werden.

### Anpassung durchführen

Es stehen acht verschiedene Anpassungen zur Verfügung:

| | | |
|---|---|---|
| **Ausgleichsgerade** | y=Ax+B | |
| **Ursprungsgerade** | y=Ax | |
| **Parabel** | $y=Ax^2+Bx+C$ | |
| **Hyperbel 1/x** | y=A/x+B | |
| **Hyperbel 1/x²** | $y=A/x^2+B$ | |
| **Exponentialfunktion** | y=A*exp(-x/B) | |
| **Einhüllende einer Schwingung** | y=±A*exp(-x/B)+C | (Dämpfung bei Luftreibung) |
| **Freie Anpassung** | y=f(x,A,B,C,D) | |

Nach Wahl der Anpassung muss noch mit der linken Maustaste der Kurvenbereich gewählt werden, in dem die Anpassung ausgeführt werden soll.

Bei der freien Anpassung müssen vor der Bereichsmarkierung die Funktion f(x,A,B,C,D), sinnvolle Startwerte und die maximal erlaubte Ausführungszeit angegeben werden. Für die Funktionseingabe gelten die üblichen Regeln. Die Startwerte sollten möglichst realistisch gewählt werden, damit die Anpassung eine gute Chance auf Erfolg hat. Falls eine Anpassung fehlschlägt, kann sie mit veränderten Startwerten und/oder längeren Ausführungszeiten wiederholt werden. Außerdem können einzelne Parameter A, B, C oder D während der Anpassung konstant gehalten werden.

Die aktuellen Parameter der Anpassung (A, B, C und D) werden bei der Anpassung in der Statuszeile eingetragen. Eine eventuell dort platzierte Koordinatenanzeige wird dabei ausgeschaltet. Diese Werte können danach als Text in das Diagramm geschrieben werden. Durch Doppelklick auf eine Anpassung kann diese wieder aus dem Diagramm gelöscht werden.

**Integral berechnen**

Der Wert des Integrals ergibt sich aus der Fläche, die der mit der linken Maustaste gewählte Kurvenbereich mit der x-Achse einschließt, bzw. aus der Peakfläche. Der Wert des Integrals wird in der Statuszeile eingetragen. Eine eventuell dort platzierte Koordinatenanzeige wird dabei ausgeschaltet.

Die aktuelle Wert des berechneten Integrals kann auch als Text in das Diagramm geschrieben werden.

**Weitere Auswertungen → Poissonverteilung berechnen**
(nur sinnvoll bei Häufigkeitsverteilungen)

Aus dem markierten Bereich des Histogramms wird die Gesamtanzahl n der Ereignisse, der Mittelwert µ und die Standardabweichung σ berechnet, in die Statuszeile eingetragen sowie die daraus errechnete Poissonverteilung eingezeichnet: y=n·µ^x/x!*exp(-µ).

**Weitere Auswertungen → Gaußverteilung berechnen**
(nur sinnvoll bei Häufigkeitsverteilungen)

Aus dem markierten Bereich des Histogramms wird die Gesamtanzahl n der Ereignisse, der Mittelwert µ und die Standardabweichung σ berechnet, in die Statuszeile eingetragen sowie die daraus errechnete Gaußverteilung eingezeichnet: y=n/σ/Sqrt(2π)*exp(-(x-µ)²/2σ²).

**Weitere Auswertungen → Peakschwerpunkt berechnen**

Es wird der Schwerpunkt des markierten Peaks berechnet und in die Statuszeile eingetragen. Durch Doppelklick auf die Schwerpunktslinie kann diese wieder aus dem Diagramm gelöscht werden.

**Weitere Auswertungen → Gaußkurven anpassen (VKA-Box)**

Es können wahlweise unabhängige Gaußkurven und Gaußkurven gleicher absoluter oder relativer Breite angepasst werden. Das Ergebnis der Gauß-Anpassung ist eine Formel aus mehreren Summanden der Art

$$A \cdot e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2},$$

wobei durch die Anpassung die Parameter A, µ und σ bestimmt werden

Im einfachsten Fall wird eine einzelne Gaußfunktion verwendet. Um eine Summe aus mehreren Gaußfunktionen anzupassen, müssen die ungefähren Lagen der einzelnen Gaußfunktionen vorher markiert werden. Jeder Peakschwerpunkt ist Startwert einer Gaußkurve bei der Anpassung. Es werden dabei nur die Peakschwerpunkte innerhalb des markierten Bereiches berücksichtigt. Zur Flächenberechnung der Gaußkurven finden Sie nachfolgend weitere Anmerkungen.

**Weitere Auswertungen → Äquivalenzpunkt bestimmen**
(nur sinnvoll bei Titrationskurven pH gegen Volumen)

Im markierten Kurvenbereich der Titrationskurve werden der Äquivalenzpunkt und der pks-Wert bestimmt und in die Statuszeile eingetragen. Durch Doppelklick auf den Äquivalenzpunkt kann dieser wieder aus dem Diagramm gelöscht werden.

**Weitere Auswertungen → Systole und Diastole bestimmen**
(nur sinnvoll bei Blutdruckkurven)

Im markierten Kurvenbereich der Blutdruckkurve werden Systole und Diastole bestimmt und in die Statuszeile eingetragen. Durch Doppelklick auf die Systole oder Diastole können diese wieder aus dem Diagramm gelöscht werden.

### Letzte Auswertung löschen

Die jeweils letzte Auswertung wird wieder zurückgenommen. Dies ist für folgende Auswertungen möglich:

- Markierung setzen
- Mittelwert einzeichnen
- Anpassung durchführen
- Integral berechnen
- Weitere Auswertungen

### Abkürzung

Tastatur: Alt + Backspace

### Alle Auswertungen löschen

Alle Auswertungen werden gelöscht. Betroffen sind die Auswertungen:

- Markierung setzen
- Mittelwert einzeichnen
- Anpassung durchführen
- Integral berechnen
- Weitere Auswertungen

### Zwischenablage

Mit **Diagramm kopieren** und **Fenster kopieren** können das Diagramm und das Hauptfenster als Bitmap in die Zwischenablage von Windows kopiert werden. Dort stehen sie dann zur Weiterverarbeitung anderen Windows-Programmen zur Verfügung.

## Addition / Subtraktion von Spektren (VKA-Box)

Das Addieren / Subtrahieren von Spektren erfolgt in der Übersichtsdarstellung. Hierzu wird einfach ein Spektrum auf ein anderes gezogen (Drag & Drop). Alternativ kann auch das Symbol eines Spektrum aus der Symbolzeile in ein Diagramm gezogen werden. In der dazugehörenden Auswahlbox kann dann die Rechenoperation und das Ziel der Berechnung bestimmt werden.

## Gaußkurven und Zählraten (VKA-Box)

Bei der Berechnung von Gesamtzählraten unter einem Peak sind einige Details zu berücksichtigen, die in Verbindung mit Gaußkurven relevant sind.

Im gemessenen Spektrum kann die Gesamtzählrate als Integral in einem Bereich, z.B. unter einem Peak, bestimmt werden. Bei VKA-Messungen ist das Ergebnis aber kein echtes Integral über die x-Achse (Energie oder Kanäle), sondern nur die Summe über die Kanäle und hat die Einheit „Ereignisse“.

Die Gesamtzählrate einer Linie kann auch aus der Anpassung einer Gaußkurve bestimmt werden. Das Ergebnis der Gauß-Anpassung ist eine Formel aus mehreren Summanden der Art

$$A \cdot e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2},$$

wobei durch die Anpassung die Parameter A, $\mu$ und $\sigma$ bestimmt werden.

Die Fläche unter einer Gaußkurve kann berechnet werden und beträgt

$$\int_{-\infty}^{\infty} A \cdot e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} dx = A \cdot \sigma \sqrt{2\pi}.$$

Dieses echte Integral über die Gaußkurve besitzt nun aber die Einheit „Ereignisse * Energie“, da die Linienbreite $\sigma$ die Einheit „Energie“ besitzt.

Zur Umrechnung auf die Zählrate als Summe über alle Kanäle muss dieses Ergebnis der Anpassung noch durch die Energiebreite eines einzelnen Kanals geteilt werden. Die Breite eines Energiekanals wird aus der Energiedifferenz $\Delta E$ zweier Kanäle in der Tabelle abgelesen, oder aus den Eigenschaften eines gemessenen Spektrums entnommen (mit rechter Maustaste auf das Symbol eines Spektrums klicken).

Die Gesamtzählrate einer Gaußkurve beträgt damit

$$\frac{A \cdot \sigma \sqrt{2\pi}}{\Delta E}$$

Die Parameter A und $\sigma$ werden beim Anpassen der Gaußkurve als Ergebnis ausgegeben, die Breite $\Delta E$ eines Kanals kann aus der Energiedifferenz zweier Kanäle in der Tabelle abgelesen werden.

Die mathematisch saubere Lösung dieses Problems wäre die Angabe der Amplitude A generell in „Zählrate pro Energieintervall“, aber dies ist in der Praxis unüblich.



## Einstellungen


**F5**

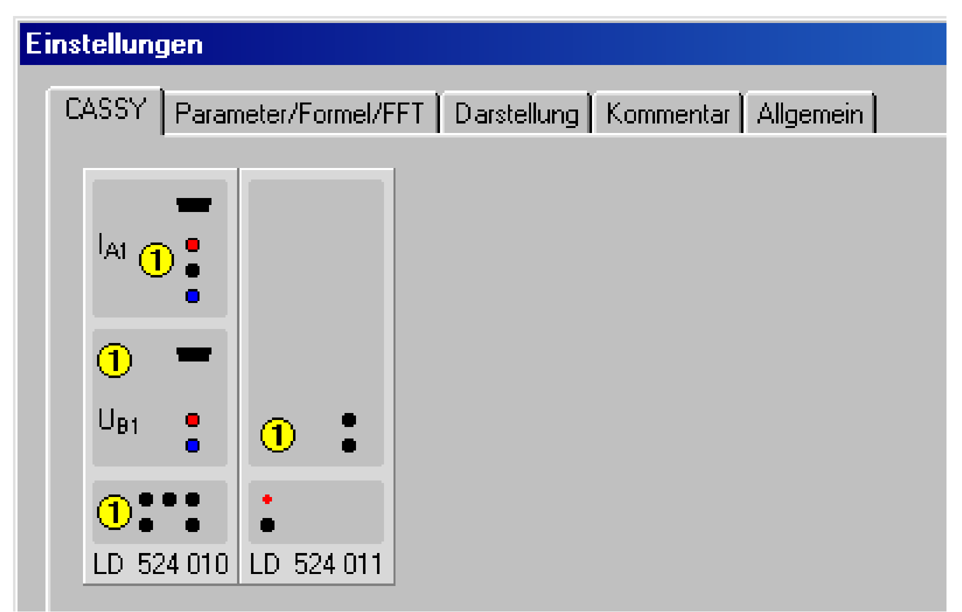
Über dieses Dialogfenster lassen sich alle Einstellungen außer der Messparameter vornehmen. Diese Einstellungen sind in fünf Gruppen gegliedert:

- CASSY (Definition der Ein- und Ausgänge der CASSYs)
- Parameter/Formel/FFT (Definition zusätzlicher Größen als Parameter, durch Formel, FFT)
- Darstellung (Änderung der Spaltenbelegung der Tabelle und Achsenbelegung des Diagramms)
- Kommentar (Platz für eigenen Text)
- Allgemein (Wahl des seriellen Geräts, der seriellen Schnittstelle und Abspeichern der Vorgaben)

## Einstellungen CASSY


**F5**

Hier wird die aktuelle Anordnung von CASSY-Modulen und Sensorboxen angezeigt. Wenn sich die aktuelle Anordnung ändert (z. B. neues Modul oder neue Sensorbox), wird diese Änderung auch in der Anzeige durchgeführt.




Durch Anklicken eines Kanals (1) lässt sich dieser aktivieren und einstellen. Die einstellbaren Größen hängen vom CASSY-Modul und der aufgesteckten Sensorbox ab. Für jeden aktivierten Kanal werden während einer Messung Messwerte in die Tabelle und das Diagramm aufgenommen. Deren Darstellung (Spalten- und Achsenbelegung) kann geändert werden.

Wenn bereits Kanäle aktiviert sind, wird nicht mehr die aktuelle Anordnung angezeigt. Stattdessen werden die aktiven Kanäle mit der aktuellen Anordnung verglichen und die Abweichungen angezeigt. Somit ist es z. B. leicht möglich, nach dem Laden einer Messdatei, die damals vorliegende Anordnung von CASSY-Modulen und Sensorboxen wiederherzustellen.

Wird nicht die aktuelle Anordnung angezeigt, so kann dies durch **Anordnung aktualisieren** erzwungen werden. Dabei gehen die aktivierten Kanäle verloren.

Sind bereits Kanäle aktiviert, dann kann durch **Messparameter anzeigen** das Messparameter-Fenster geöffnet werden.

- Siehe auch.

## Einstellungen Parameter/Formel/FFT

 **F5**

Einige Größen können nicht direkt mit CASSY gemessen werden und liegen deshalb nicht als CASSY-Kanal vor. Wenn solche Größen trotzdem in einer Tabelle oder in einem Diagramm angezeigt werden sollen, müssen die Größen hier definiert werden.

**Neue Größe** legt dazu einen neuen Datensatz an, beginnend mit dem Namen dieser Größe. Die neue Größe muss ein Symbol erhalten, unter dem sie angesprochen werden kann. Dieses Symbol sollte aus möglichst wenigen, aber aussagekräftigen Buchstaben bestehen und darf auch aus einem &-Zeichen gefolgt von einem Buchstaben bestehen. Es wird dann der entsprechende griechische Buchstabe angezeigt (sonst nur der lateinische). Außerdem sind die vorgeschlagenen Werte für den Messbereich und die Achsenskalierung (wichtig für die analoge und grafische Darstellung) sowie die Anzahl der signifikanten Nachkommastellen (wichtig für die digitale und tabellarische Darstellung) den individuellen Erfordernissen anzupassen.

Es gibt sechs verschiedene Typen neuer Größen:

### Parameter

Für einen Parameter wird lediglich eine Tabellenspalte reserviert. Alle Zahlenwerte, die in dieser Tabellenspalte stehen sollen, können dort über die Tastatur eingetragen werden. Das kann vor oder nach der Aufnahme der anderen Messwerte durch Anklicken der Tabellenzelle mit der Maus erfolgen. Es ist sinnvoll den Parameter **vorher** einzugeben, damit bei der manuellen Messwertaufnahme direkt die richtigen Messpunkte im Diagramm erscheinen und nicht noch einmal der alte Parameterwert verwendet wird.

Alternativ kann der Parameterwert auch in den Einstellungen des Parameters vorgegeben oder mit der linken Maustaste im Anzeigeinstrument verschoben werden.

### Formel

Abhängig von bereits bekannten Größen lässt sich über eine mathematische Formel eine neue Messgröße definieren. Die bekannten Größen werden dabei über Ihre Symbole angesprochen, die in der angezeigten Liste aufgeführt sind. Die eigentliche Formel wird unter Beachtung der korrekten Formelschreibweise eingegeben (siehe auch Beispiele).

### Ableitung, Integral, Mittelwert, FFT (Fourier Transformation)

Für die zeitliche Ableitung, das zeitliche Integral und die FFT (Fourier Transformation) muss lediglich der zu transformierende Kanal ausgewählt werden. Beim Mittelwert muss zusätzlich das Zeitintervall vorgegeben werden, in dem gemittelt werden soll. Für sinnvolle Mittelungen muss das Zeitintervall der Mittelung größer als das Zeitintervall der Messung sein. Für die FFT wird automatisch das **Frequenzspektrum** als weitere Darstellung erzeugt, auf die über die Darstellungsseiten umgeschaltet werden kann.

### Anmerkungen

Bei einer Ableitung verschlechtert sich die Auflösung mit kleinerem Zeitintervall $\Delta t$. Ist beispielsweise die Auflösung einer Wegmessung $\Delta s$ = 1 mm und mit einem Zeitintervall von $\Delta t$ = 100 ms gemessen, so hat die erste Ableitung $v(i) = (s(i+1)-s(i-1))/2\Delta t$ eine Auflösung von $\Delta v$ = 0,005 m/s und die zweite Ableitung eine Auflösung $\Delta a$ = 0,025 m/s². Bei einem Zeitintervall von $\Delta t$ = 50 ms erhöhen sich diese Fehler auf $\Delta v$ = 0,01 m/s und $\Delta a$ = 0,1 m/s². Daher sollte $\Delta t$ möglichst groß gewählt werden (z. B. 200 ms für Bewegungen auf einer Fahrbahn oder 50 ms für schwingende Federn).

Die maximale Frequenz einer FFT beträgt die Hälfte der Abtastrate. Wird also mit einem Zeitintervall $\Delta t$ = 10 µs (f = 100 kHz) gemessen, so geht der Frequenzbereich der FFT bis 50 kHz. Die Auflösung in diesem Frequenzbereich hängt dagegen von der Anzahl der Messwerte ab. Je mehr Originalmesswerte aufgenommen worden sind, um so besser ist auch die Frequenzauflösung im Frequenzspektrum.

## Einstellungen Darstellung

 **F5**

Eine Darstellung besteht aus einer Tabelle und einem Diagramm mit x-Achse und bis zu 8 y-Achsen. Jede Messgröße kann frei auf eine dieser Achsen gelegt und im Bedarfsfall dabei noch umgerechnet werden ($x^2$, 1/x, $1/x^2$, log x) werden. Für die x-Achse sind drei weitere Größen vordefiniert: n (Tabellenzeile), t (Zeit), f (Frequenz für FFT).

Wenn mehr als eine y-Achse dargestellt wird, kann die sichtbare y-Achsenskalierung im Diagramm durch einen entsprechend bezeichneten Button umgeschaltet werden. Dies wirkt auch auf eine Koordinatenanzeige, aber nicht auf die anderen Auswertungen.

Wenn eine Darstellung nicht ausreicht, können durch **neue Darstellung** weitere erzeugt werden, die mit ihrem Namen in die Darstellungsseiten unter den Speed-Buttons einsortiert werden. Dort kann dann mit der Maus bequem zwischen den verschiedenen Darstellungen umgeschaltet werden.

In jeder Darstellung kann gewählt werden, ob ein kartesisches Diagramm oder ein Polardiagramm dargestellt werden soll. Die kartesischen Diagramme bieten zu jeder y-Achse die Option, die Werte als Balken darzustellen (Histogramm). Bei Polardiagrammen muss als x-Achse ein Winkel (Bereich 0° bis 360°) gewählt werden. Jede y-Achse wird dann als Betrag r einer komplexen Zahl gedeutet und entsprechend des Winkels dargestellt. Dabei muss der Ursprung nicht bei r = 0 liegen, sondern kann auch negativ sein (z. B. für die Darstellung von Antennen-Richtdiagrammen in dB).

#### Anmerkungen

Die angezeigten Kanäle lassen sich alternativ auch mit der linken Maustaste zwischen den Kanal-Buttons und der Tabelle und dem Diagramm hin und herziehen (Drag & Drop).

Die rechte Maustaste eröffnet auf den Skalen auch die Möglichkeit, die Achsen umzurechnen ($x^2$, 1/x, $1/x^2$, log x) sowie Skalenminimum und Maximum zu verändern. Mit der linken Maustaste können Skalen verschoben werden.

## Einstellungen Kommentar

 **F5**

Zur besseren Dokumentation von eigenen Versuchsdateien besteht hier die Möglichkeit Text einzugeben, zusammen mit der Versuchsdatei abzuspeichern und später wieder zu laden. Der Text lässt sich auch über die Zwischenablage mit Strg+V in das Eingabefeld einfügen.

## Allgemeine Einstellungen

 **F5**

Hier kann die serielle Schnittstelle umgestellt werden, an der CASSY und/oder die anderen seriellen Messgeräte am Computer angeschlossen sind. Für CASSYs am USB-Port (ab Windows 98/2000) muss keine serielle Schnittstelle angegeben werden - sie werden automatisch gefunden. Außerdem kann die Sprache umgestellt werden.

Wenn diese Umstellung auch beim den nächsten Start der Software gelten soll, muss noch **Neue Vorgaben abspeichern** gewählt werden. Gleichzeitig speichert dies auch die aktuellen Einstellungen von:

- Schriftgröße wählen
- Koordinaten anzeigen

- Linienbreite wählen
- Werteanzeige wählen
- Skalierung wählen
- Raster einblenden

Die angegebenen CASSY-Module bezeichnen die erkannten Geräte und die Versionsinformation der CASSY-Module. Wenn die Versionen der in den CASSY-Modulen implementierten Software neuer oder älter als die hier vorliegende Software ist, erfolgt eine entsprechende Mitteilung. Durch **CASSY-Module aktualisieren** überschreibt die hier vorliegende Software die Software, die in den CASSY-Modulen implementiert ist (egal ob neuer oder älter).

**Tipp**

Wenn die hier vorliegende Software älter ist als die CASSY-Module oder die Software aktualisiert werden soll, kann vom Internetserver http://www.leybold-didactic.de die aktuelle Version geladen werden.

- Update aus dem Internet laden

## Formelschreibweise

### Variablen einer Formel f(time,date,n,t,...,old)

Die Formel f(...) darf von allen unten aufgeführten Kanälen abhängen. Dazu ist das Symbol des Kanals als Variablenname zu verwenden. Z. B. ist das Ergebnis der Formel **UA1 > 5** gleich 1, wenn die Spannung größer ist als 5 V und sonst gleich 0.

| **Formel für** | **darf abhängen von** |
|---|---|
| Messbedingung | allen Kanälen |
| Formel | Eingängen, seriellen Messgeräten und früher definierten Formeln |
| Relais/Spannungsquelle | Eingängen, seriellen Messgeräten, Formeln |

Zusätzlich darf die Formel noch von der Uhrzeit **time** in Sekunden, dem Datum **date** der Messzeit **t** in Sekunden, der Anzahl **n** der aufgenommenen Messwerte und dem letzten Wert der Formel **old** abhängen. Am Ende einer Formel darf ein Kommentar stehen, wenn dieser durch ein Semikolon von der Formel getrennt ist.

Mitunter bestehen die Symbole aus einem &-Zeichen gefolgt von einem Buchstaben. In diesem Fall wird der entsprechende griechische Buchstabe angezeigt (sonst der lateinische). Bei der Formeleingabe ist das &-Zeichen mit einzugeben.

### Funktionen in einer Formel

Innerhalb einer Formel dürfen die folgenden Funktionen auftreten. Die Funktionsargumente müssen nur dann in Klammern stehen, wenn sie zusammengesetzt sind, z. B. bei **square(t/10)**.

| | |
|---|---|
| **ramp** | Rampe (Sägezahn zwischen 0 und 1, ramp(x) = frac(x)) |
| **square** | Rechteck (zwischen 0 und 1, square(x) = ramp(x) < 0.5) |
| **saw** | Dreieck (zwischen 0 und 1) |
| **shift** | Einmalige Rampe (ist 0 wenn Argument < 0, 1 wenn Argument > 1, sonst gleich dem Argument) |
| **sin** | Sinus im Gradmaß (Periode 360°) |
| **cos** | Cosinus im Gradmaß (Periode 360°) |
| **tan** | Tangens im Gradmaß (Periode 360°) |
| **arcsin** | Arcus Sinus im Gradmaß |
| **arccos** | Arcus Cosinus im Gradmaß |
| **arctan** | Arcus Tangens im Gradmaß |
| **last** | Argument zum Zeitpunkt der letzten Messwertaufnahme (letzte Tabellenzeile) |
| **delta** | Änderung gegenüber der letzten Messwertaufnahme (delta(x) = x-last(x)) |
| **next** | Argument zum Zeitpunkt der nächsten Messwertaufnahme (nächste Tabellenzeile) |
| **new** | ist 1, wenn sich das Argument geändert hat, 0 sonst |
| **random** | Zufallszahl (0 <= random(x) < x) |
| **sqr** | Quadratwurzel |
| **exp** | Exponentialfunktion |
| **ln** | natürlicher Logarithmus |
| **log** | dekadischer Logarithmus |
| **int** | Integer-Funktion (die nächst kleinere ganze Zahl) |
| **frac** | Nachkomma-Funktion (Abstand zur nächst kleineren ganzen Zahl) |
| **abs** | Absolutbetrag |
| **sgn** | Signum (ist 1 wenn Argument > 0, -1 wenn Argument < 0, 0 wenn Argument = 0) |
| **odd** | ist 1 wenn Argument ungerade, 0 wenn Argument gerade |
| **even** | ist 1 wenn Argument gerade, 0 wenn Argument ungerade |
| **not** | logische Invertierung (ist 1 wenn Argument gleich 0, ist 0 sonst) |
| **sec** | rundet die Zeit auf volle Sekunden ab (sec(x) = int(x)) |
| **min** | rundet die Zeit auf volle Minuten ab (min(x) = 60*int(x/60)) |
| **day** | gibt den Wochentag zurück (1 = Montag, ...) |

### Verknüpfung der Variablen und Funktionen

Alle Variablen (oder auch eingegebene Zahlenwerte) können durch die üblichen mathematischen Operatoren verknüpft werden.

Die Operatoren haben unterschiedliche Prioritäten. Je höher ein Operator in der folgenden Liste steht,

desto höher ist seine Priorität bei der Auswertung der Formel („Punktrechnung vor Strichrechnung“). Soll eine andere Auswertungsreihenfolge erzwungen werden, so sind die betreffenden Ausdrücke in Klammern zu setzen.

1) **^** Potenzierung

2) ***** Multiplikation
**/** Division

3) **+** Addition
**-** Subtraktion

4) **=** Test auf Gleichheit
**<>** Test auf Ungleichheit
**>** Test auf Größer
**>=** Test auf Größer oder Gleich
**<** Test auf Kleiner
**<=** Test auf Kleiner oder Gleich

5) **and** logische Und-Verknüpfung

6) **or** logische Oder-Verknüpfung

Siehe auch.

### Beispiele für die Verwendung der Variablen time, date, n, t und old

**t <= 100**
hat während der ersten 100 s der Messung den Wert 1 und danach den Wert 0. Diese Formel kann z. B. für das Zeitfenster verwendet werden um die Messung nach 100 s zu stoppen.

**time >= 12:30:35**
hat ab der Uhrzeit 12:30:35 den Wert 1, vorher den Wert 0. Es muss der Operator >= verwendet werden, da exakte Gleichheit nur für 1/100 s gilt und damit praktisch nicht erreicht wird.

**min(time) = 11:45 and date = 18.3.1997**
ist nur während der einen Minute am 18.3.1997 um 11:45 wahr (Wert 1) und sonst falsch (Wert 0).

**(T < 25) or (T < 27 and old)**
realisiert einen Zweipunkt-Regler. Ist die Temperatur T kleiner 25 °C, so ist das Funktionsergebnis 1 (hier z. B. Heizung eingeschaltet). Ist die Temperatur T kleiner 27 °C **und** war die Heizung vorher bereit eingeschaltet, dann bleibt sie auch eingeschaltet. Erst wenn die Temperatur über 27 °C steigt, schaltet sich die Heizung aus und bleibt auch solange aus, bis die Temperatur wieder unter 25 °C sinkt.

**0,5 * (n – 1)**
errechnet aus der Nummer der laufenden Messung z. B. ein Volumen. In diesem Fall werden alle 0,5 ml ein Messwert aufgenommen und so aus n das Volumen berechnet. Für die erste Tabellenzeile hat n den Wert 1.

### Beispiele für die Erzeugung von Frequenzen

**ramp(t/10)**
erzeugt eine Rampe mit einer Periodendauer von 10 Sekunden (t ist die Messzeit in Sekunden und startet mit Start der Messung bei 0). Die Rampe startet mit 0 und endet mit 1. Werden andere Amplituden benötigt, so muss zusätzlich mit der gewünschten Amplitude multipliziert werden.

**saw(t/5)**
erzeugt ein Dreieck mit einer Periodendauer von 5 Sekunden.

**square(t/5)**
erzeugt analog zum vorigen Beispiel ein Rechteck mit einer Periodendauer von 5 Sekunden. Nach jeweils 2.5 Sekunden wird zwischen 0 und 1 und umgekehrt gewechselt.

**10*(ramp(t/10) < 0.4)**
erzeugt wieder ein Rechteck. Diesmal jedoch mit der Amplitude 10 und einem Tastverhältnis von 40%. 40% der Zeit ist der Klammerausdruck 1 (wahr) und die restlichen 60% der Zeit ist er 0 (falsch).

**shift((time-12:30)/100)**
erzeugt eine einmalige Rampe ab der Uhrzeit 12:30 für die Dauer von 100 Sekunden. In dieser Zeit wächst der Wert der Formel kontinuierlich von 0 auf 1.

**sin(360*t/7)**
erzeugt eine Sinusschwingung mit der Periodendauer 7 Sekunden und der Amplitude 1.

### Beispiele für die Rangfolge der Auswertung arithmetischer Ausdrücke

**x+y^z*2**
besitzt die Operator-Rangfolge ^,* und +. Das hat zur Folge, dass zuerst y^z ausgewertet wird, das Ergebnis anschließend mit zwei multipliziert und erst zum Schluss x addiert wird. Soll die vorgegebene Operator-Rangfolge unterdrückt werden, so müssen die betreffenden Ausdrücke in Klammern gesetzt werden.

**(x+y)^(z*2)**
im Gegensatz zum vorigen Beispiel werden hier zunächst die Addition x+y sowie die Multiplikation z*2 ausgeführt. Erst zum Schluss werden die beiden Einzelergebnisse miteinander potenziert.

### Beispiele für die Auswertung Boolescher Ausdrücke

**x < 5**
kann entweder den Wert 0 (falsch, für x >= 5) oder den Wert 1 (wahr, für x < 5) haben.

**x1 < 5 and x2 > 0**
hat den Wert 1 (wahr, wenn gleichzeitig x1 < 5 und x2 > 0 ist) und sonst den Wert 0. Es müssen keine Klammern gesetzt werden, da der Operator and eine geringere Priorität hat als < und >.

**5*(T < 20)**
hat in der Klammer nur die Werte 0 (falsch) und 1 (wahr). Diese Werte werden jedoch noch mit 5 multipliziert. Eine solche Formel ist daher nur bei Analogausgängen sinnvoll. In diesem Fall würde am Analogausgang eine Spannung von 5 V ausgegeben werden, wenn T kleiner als 20 wird (z. B. eine Temperatur).

**time >= 12:30**
hat ab der Uhrzeit 12:30 den Wert 1, vorher den Wert 0. Es muss der Operator >= verwendet werden, da exakte Gleichheit nur für 1/100 s gilt und damit praktisch nicht erreicht wird.

**sec(time) = 11:45:07 and date = 18.3.1997**
ist nur während der einen Sekunde am 18.3.1997 um 11:45:07 wahr (Wert 1) und sonst falsch (Wert 0).

**day(date) = 1**
ist jeden Montag wahr (Wert 1) und sonst falsch (Wert 0).

## Formelbeispiele

**Einfacher Regler: ϑA11<25**
(ϑ als &J eingeben) ist 1, wenn die Temperatur kleiner als 25 °C ist und 0 sonst (z. B. zur Steuerung einer Heizung).

**Zweipunkt-Regler: ϑA11<25 or (ϑA11<27 and old)**
(ϑ als &J eingeben) ist 1, wenn die Temperatur kleiner als 25 °C ist oder - für den Fall, dass der Wert vorher auch schon 1 war - sogar bis 27 °C und 0 sonst (z. B. zur Zweipunkt-Steuerung einer Heizung). Der Regler schaltet also unter 25 °C ein und über 27 °C wieder aus.

**Rampe: 8*ramp(t/10)**
erzeugt eine Rampe von 0 bis 8 mit der Periodendauer 10 s (0,1 Hz).

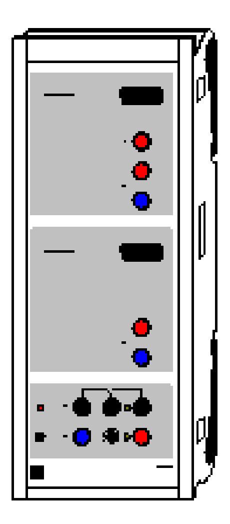
**Rechteck mit freiem Tastverhältnis: ramp(t/10) < 0.8**
erzeugt ein Rechteck mit der Periodendauer 10 s (0,1 Hz). 80% der Periodendauer ist das Rechteck 1 und sonst 0.

**Temperaturkompensation pH: pHA1*(1-(ϑB1-25)/273)**
(ϑ als &J eingeben) korrigiert den bei 25 °C kalibrierten pH-Wert $pH_{A1}$ für die neue Temperatur $\vartheta_{B1}$.

**Temperaturkompensation Leitfähigkeit: CA1*(1+(ϑB1-25)/45)**
(ϑ als &J eingeben) korrigiert die bei 25 °C kalibrierte Leitfähigkeit $C_{A1}$ für die neue Temperatur $\vartheta_{B1}$.



## Sensor-CASSY



### Einführung

Sensor-CASSY (USB bzw. seriell) ist ein kaskadierbares Interface zur Messdatenaufnahme

- zum Anschluss an den USB-Port eines Computers (ab Windows 98/2000) bzw. die serielle Schnittstelle RS232, an ein weiteres CASSY-Modul oder an das CASSY-Display
- 4-fach galvanisch getrennt (Eingänge A und B, Relais R, Spannungsquelle S)
- bis zu 8 CASSY-Module kaskadierbar (dadurch Vervielfachung der Ein- und Ausgänge)
- bis zu 8 Analogeingänge pro Sensor-CASSY über Sensorbox nachrüstbar
- automatische Sensorboxerkennung durch CASSY Lab (plug & play)
- mikrocontrollergesteuert mit CASSY-Betriebssystem (jederzeit bequem über Software für Leistungserweiterungen aktualisierbar)
- variabel aufstellbar als Tisch-, Pult- oder Demogerät (auch im CPS/TPS-Experimentierrahmen)
- Spannungsversorgung 12 V AC/DC über Hohlstecker oder ein benachbartes CASSY-Modul

Developer Information für eigene Softwareentwicklung im Internet verfügbar

### Sicherheitshinweise

- Zu Ihrer eigenen Sicherheit Sensor-CASSY nicht mit Spannungen über 100 V beschalten.
- Transport mehrerer kaskadierter CASSY-Module nur im Experimentierrahmen oder einzeln (die mechanische Stabilität der Kopplung ohne Experimentierrahmen reicht nur zum Experimentieren und nicht zum Transport aus).
- Zur Spannungsversorgung der CASSY-Module möglichst nur mitgeliefertes Steckernetzgerät (12 V / 1,6 A) verwenden.
- Ein Sensor-CASSY kann auch ein benachbartes Modul mit Spannung versorgen solange die Gesamtstromaufnahme kleiner 1,6 A bleibt (reicht für max. 2 Module, schaltet bei Überlast ab). Erforderlichenfalls weitere Sensor-CASSYs separat mit Spannung versorgen.

Siehe auch.

## Technische Daten

5 Analoge Eingänge (jeweils 2 beliebige Eingänge A und B gleichzeitig nutzbar)
  2 Analoge Spannungseingänge A und B auf 4-mm-Sicherheitsbuchsen
    Auflösung: 12 Bit
    Messbereiche: ±0,3/1/3/10/30/100 V
    Messfehler: ±1 % zuzüglich 0,5 % vom Bereichsendwert
    Eingangswiderstand: 1 MΩ
    Abtastrate: max. 200.000 Werte/s (= 100.000 Werte/s pro Eingang)
    Anzahl Messwerte: praktisch unbegrenzt (PC-abhängig) bis 100 Werte/s, bei höherer Messrate max. 32.000 Werte (= 16.000 Werte pro Eingang)
  1 Analoger Stromeingang A auf 4-mm-Sicherheitsbuchsen
    Messbereiche: ±0,1/0,3/1/3 A
    Messfehler: Spannungsmessfehler zuzüglich 1 %
    Eingangswiderstand: < 0,5 Ω (außer bei Überlast)
    weitere Daten siehe Spannungseingänge
  2 Analoge Eingänge auf Sensorbox-Steckplätzen A und B
    (Anschluss aller CASSY-Sensorboxen und Sensoren möglich)
    Messbereiche: ±0,003/0,01/0,03/0,1/0,3/1 V
    Eingangswiderstand: 10 kΩ
    weitere Daten siehe Spannungseingänge
    Technische Daten ändern sich entsprechend einer aufgesteckten Sensorbox
    Erkennung der dann möglichen Messgrößen und Bereiche automatisch durch CASSY Lab nach Aufstecken einer Sensorbox

4 Timer-Eingänge mit 32-Bit-Zählern auf Sensorbox-Steckplätzen A und B
  (z. B. für BMW-Box, GM-Box oder Timer-Box)
  Zählfrequenz: max. 100 kHz
  Zeitauflösung: 0,25 µs
  Messzeit zwischen zwei Ereignissen am selben Eingang: min. 100 µs
  Messzeit zwischen zwei Ereignissen an verschiedenen Eingängen: min. 0,25 µs
  Speicher: max. 10.000 Zeitpunkte (= 2.500 pro Eingang)

1 Umschaltrelais (Schaltanzeige mit LED)
  Bereich: max. 100 V / 2 A

1 Analoger Ausgang (PWM-Ausgang) (**p**uls**w**eiten**m**oduliert, schaltbare Spannungsquelle, Schaltanzeige mit LED, z. B. für Haltemagnet oder Experimentversorgung)
  Spannung variabel: max. 16 V / 200 mA (Last ≥ 80 Ω)
  PWM-Bereich: 0 % (aus), 5-95 % (1 % Auflösung), 100 % (an)
  PWM-Frequenz: 100 Hz

12 Digitale Eingänge (TTL) auf Sensorbox-Steckplätzen A und B
  (z. Zt. nur für automatische Sensorbox-Erkennung verwendet)

6 Digitale Ausgänge (TTL) auf Sensorbox-Steckplätzen A und B
  (z. Zt. nur für automatische Messbereichsumschaltung einer Sensorbox verwendet)

1 USB-Port (USB-Version) bzw. serielle Schnittstelle RS232 (SubD-9) zum Anschluss eines Computers

1 CASSY-Bus zum Anschluss weiterer CASSY-Module oder des CASSY-Displays

Abmessungen (BxHxT): 115 mm x 295 mm x 45 mm
Masse: 1,0 kg

### Lieferumfang

1 Sensor-CASSY
1 Software CASSY Lab ohne Freischaltcode für Windows 95/98/NT oder höher mit ausführlicher Hilfe (20 Nutzungen frei, dann als Demoversion nutzbar)
1 Installationsanleitung
1 USB-Kabel bzw. serielles Kabel (SubD-9)
1 Steckernetzgerät 12 V / 1,6 A

## Einstellungen Sensoreingang

Sensor-CASSY bietet zwei galvanisch getrennte Sensoreingänge A und B, die sowohl Spannung (bzw. Eingang A auch Stromstärke) als auch andere Messgrößen – bestimmt durch die aufgesteckte Sensorbox – erfassen können. Die Erkennung der Sensorbox und damit der Messmöglichkeiten geschieht **automatisch**, d. h., in der Darstellung der CASSY-Anordnung werden die Eingänge mit eventuell aufgesteckten Sensorboxen skizziert. Dort werden sie zur Vorbereitung einer Messung auch durch Anklicken aktiviert.

Die angezeigte Auswahl der Messgrößen und Messbereiche hängt also davon ab, ob und welche Sensorbox aufgesteckt ist. Andere Messgrößen erfordern eine andere Sensorbox (siehe auch Produktkatalog).

Die ausgewählte Messgröße kann als Momentanwert gemessen, über viele Messwerte gemittelt oder ihr Effektivwert bestimmt werden. Normalerweise reicht eine ungemittelte Messung der **Momentanwerte** aus. Ist das Eingangssignal jedoch verrauscht oder mit „Brumm“ überlagert, sind **gemittelte Werte** erforderlich. Bei Wechselspannungen misst man in der Regel **Effektivwerte** (eine zweikanalige Effektivwertmessung erzeugt automatisch den passenden cos φ-Kanal). Wenn das Zeitintervall kleiner als 10 ms ist, weicht in den letzten beiden Fällen die Messwertaufnahme in die Tabelle und in das Diagramm von den Anzeigeinstrumenten ab. Dadurch ist es gleichzeitig möglich, Kurvenformen und Effektivwerte darzustellen.

Standardmäßig werden die gemittelten Werte und die Effektivwerte während einer Zeit von 100 ms berechnet. Diese Zeit kann global für alle Eingänge verändert werden. Bei Verwendung des Power-CASSYs wird diese Zeit bei jeder Frequenzänderung so verändert, dass immer eine ganze Anzahl von Perioden ausgewertet wird.

Wenn die Genauigkeit der Messwerte nicht ausreicht, kann diese durch Korrigieren noch erhöht werden. Dies kann z. B. erforderlich werden, wenn eine spezielle pH-Elektrode an das Programm angepasst werden soll.

**Spezialtasten** (oft nicht sichtbar)

| | |
|---|---|
| **Box-LED** | Leuchtdiode auf der Sensorbox an/aus,<br>z. B. SMOOTH (Brücken-Box) oder<br>COMPENSATION (Voraussetzung zum Taraabgleich bei der B-Box) |
| → 0 ← | Nullpunkteinstellung (macht den aktuellen Wert zum Nullpunkt),<br>z. B. für Weg, Kraft, Druck, Ereignisse, Stoß |
| **s ↔ –s** | Vorzeichenumkehr beim Weg<br>(Bewegungsaufnehmer mit der BMW-Box) |

Außerdem gibt es noch spezielle Eingabefelder, die die Benutzung der BMW-Box, GM-Box und Timer-Box erheblich erleichtern (z. B. Torzeit, Breite der Unterbrecherfahne) und auch nur angezeigt werden, wenn die passende Box aufgesteckt ist.

Bei der Reaktionstest-Box muss das Reaktionssignal erst durch das Drücken eines Tasters (Hand- oder Fußtaster) angefordert werden. Die eigentliche Reaktion muss dann nach Erscheinen des Zeigers im Anzeigeinstrument entsprechend der Farbe des Zeigers (rot, grün oder gelb) erfolgen.

☐ Siehe auch.

## Messgrößen Sensoreingang

Die erfassbaren Messgrößen eines Sensoreingangs hängen ganz entscheidend von der Sensorbox ab, die auf den Sensoreingang aufgesteckt ist. Folgende Tabelle definiert die Zuordnung zwischen Sensorbox, Messgröße und Sensor:

| Nr. | Sensorbox | Messgröße | Sensor | Bemerkung |
|---|---|---|---|---|
| | ohne | Spannung | | |
| | | Strom | | nur Eingang A und nur für Ströme kleiner 3 A |
| 524 031 | Stromquellen-Box | Widerstand | | |
| | | Weg | Wegaufnehmer (529 031) | Potentiometer zur Wegmessung |
| 524 032 | BMW-Box | Weg (Δs=±1 mm) | Bewegungsaufnehmer (337 631*) | obere Buchse auf BMW-Box mit Bewegungsrichtung |
| | | Winkel (Δs=±1 mm) | dto. | dto. zusätzlich Radius angeben |
| | | Weg (Δs=+1 cm) | Paar Registrierrollen (337 16*) | untere Buchse auf BMW-Box nur erstes Rad verwenden |
| | | Winkel (Δs=+1 cm) | dto. | dto. zusätzlich Radius angeben |
| 524 033 | GM-Box | Ereignisse | Fensterzählrohr (z. B. 559 01) | |
| | | Rate | dto. | Torzeit angeben mit Häufigkeitsverteilung als alternative Darstellung |
| 524 034 | Timer-Box | Pegel | | |
| | | Ereignisse | | |
| | | Frequenz | | Torzeit angeben |
| | | Rate | | dto. mit Häufigkeitsverteilung als alternative Darstellung |
| | | Periodendauer | | |
| | | Laufzeit | | von Ereignis an E nach F |
| | | Verdunkelungen | Gabellichtschranke (337 46*) | Nummer der Verdunkelung |
| | | Dunkelzeit | dto. | Dauer der Verdunkelung |
| | | Weg (Δs=1 cm) | Speichenrad (z. B. 337 461) oder g-Leiter (529 034) jeweils mit Gabellichtschranke (337 46*) | |
| | | Winkel (Δs=1 cm) | dto. | Radius angeben |
| | | Linearer Stoß (v) | 2 Gabellichtschranken (337 46*) | Fahnenbreite angeben |
| | | Drehstoß (ω) | dto. | Fahnenbreite und Radius angeben |
| 524 035 | pH-Box | pH-Wert | pH-Elektrode (z. B. 667 424) | mit zwei Pufferlösungen korrigieren Temperaturkompensation über Formel möglich |
| | | Spannung | dto. | spezielle Auswertung für Äquivalenzpunkt |
| 524 036 | KTY-Box | Temperatur | KTY-Sensor (529 036) | |
| | | Widerstand | dto. | |
| 524 037 | Leitfähigkeits-Box | Leitfähigkeit | Leitfähigkeits-Messzelle (667 426) | mit aufgedrucktem Faktor k der Messzelle korrigieren Temperaturkompensation über Formel möglich |
| 524 038 | B-Box | magnetische Flussdichte | Tangentiale B-Sonde (516 60*) Axiale B-Sonde (516 61*) | zum Offsetabgleich mit → 0 ← muss LED auf der Box mit **Box-LED** angeschaltet sein |
| | | Relativdruck (2000 hPa) | Drucksensor (529 038*) | |
| | | Relativdruck (70 hPa) | Drucksensor 70 hPa (529 040*) | |
| | | Absolutdruck | Absolutdrucksensor (529 042*) | |
| 524 039 | dU-Box | Spannung | | wegen galvanischer Trennung nicht mehr erforderlich |
| 524 040 | µV-Box | Spannung | | hochempfindlicher Eingang (Auflösung bis 0,5 µV) |
| 524 041 | Brücken-Box | Kraft | Kraftsensor (314 261*) | **Box-LED** schaltet zwischen geglättet (SMOOTH) und ungeglättet um; ist durch Kraftsensor S, ±1 N ersetzt |
| 524 042 | Kraftsensor S, ±50 N | Kraft | integriert | für große Kräfte bis 50 N |
| | | Beschleunigung | | |
| 524 043 | 30-A-Box | Strom | | nur für Ströme größer 3 A verwenden (sonst ohne Box auf A) |
| 524 044 | Temperatursensor S (NTC) | Temperatur | integriert | |



| Nr. | Sensorbox | Messgröße | Sensor | Bemerkung |
|---|---|---|---|---|
| 524 045 | Temperatur-Box | Temperatur<br><br>Differenztemperatur | Temperaturfühler NTC (666 212)<br>oder NiCr-Ni (666 193)<br>2 NiCr-Ni (666 193) | |
| 524 046 | Reaktionstest-Box | Reaktionszeit | Handtaster (662 148) oder Fußtaster (662 149) | zum Start vorher Taste drücken - zur Reaktion wieder entsprechend der Farbe des Zeigers |
| 524 047 | Puls-Box | Puls<br><br>Spannung | | zum Einpegeln der Box mind. 10 s warten<br>Durchblutungskurve |
| 524 048 | Hautwiderstands-Box | Hautwiderstand | | Messbereich individuell anpassen (Achse mit Maus verschieben oder mit rechter Maustaste anklicken) |
| 524 049 | EKG/EMG-Box | 3 EKG-Ableitungen<br>EMG | | |
| 524 050 | Blutdruck-Box | Blutdruck<br><br>Puls | | spezielle Auswertung für Systole und Diastole<br>nur Blutdruckschwankungen |
| 524 051 | Lux-Box | Beleuchtungsstärke | Luxsensor (666 243)<br>IR-Sensor (666 247)<br>UV-A-Sensor (666 244)<br>UV-B-Sensor (666 245)<br>UV-C-Sensor (666 246) | mit aufgedrucktem Faktor F des Sensors korrigieren |
| 524 052 | Sauerstoff-Box | O2-Sättigung<br>O2-Konzentration<br><br>Temperatur | Sauerstoffelektrode (667 458) | in O2-Gas auf 100% korrigieren<br>mit gleichem Faktor wie bei Sättigung korrigieren |
| 524 054 | Elektrometer-Box | Spannung | | extrem hochohmiger Eingang, z. B. für Elektrostatik |
| 524 055 | Amplifier-Box | Spannung | | ist durch µV-Box ersetzt |
| 524 056 | Spirometer-Box | Volumenfluss | | |
| 524 057 | Klima-Box | rel. Luftfeuchte<br>Temperatur<br>Temperatur<br>Luftdruck<br>Beleuchtungsstärke | Feuchtesensor (529 057)<br>Feuchtesensor (529 057)<br>Temperaturfühler NTC (666 212)<br>integriert<br>Luxsensor (666 243) | mit aufgedruckten Werten C1 bis C4 kalibrieren<br><br><br><br>mit aufgedrucktem Faktor F des Sensors korrigieren |
| 524 058 | VKA-Box | Impulshöhenverteilung | Szintillationszähler (559 901) mit Detektor-Ausgangsstufe (559 912) oder Halbleiter-Detektor (559 92) mit Diskriminator-Vorverstärker (559 93*) | Messung radioaktiver Spektren |
| 524 059 | Mikrofon S | Spannung<br>Frequenz<br>Laufzeit<br>Pegel | integriert | externes Mikrofon anschließbar |
| 524 060 | Kraftsensor S, ±1 N | Kraft | integriert | für Kräfte bis 1 N |
| 524 064 | Drucksensor S, 2000 hPa | Relativdruck | integriert | |
| 524 065 | Absolutdrucksensor S | Absolutdruck | integriert | |
| 524 066 | Drucksensor S, 70 hPa | Relativdruck | integriert | |

Mit * bezeichnete Sensoren brauchen zum Anschluss an die Sensorbox ein 6-poliges Verbindungskabel (501 16).

❑ Siehe auch.

## Korrigieren Sensoreingang

Zur Korrektur von Messwerten gibt es verschiedene Möglichkeiten, die sich alle einfach aus dem Dialogfenster ergeben.

Links vom Gleichheitszeichen können ein Offset (Verschiebung) und/oder ein Faktor eingegeben werden, mit denen die Software aus den links angezeigten Messwerten (Istwerte) die Anzeigewerte rechts vom Gleichheitszeichen (Sollwerte) berechnet. Zur Berechnung der Korrektur muss jeweils **Offset korrigieren** oder **Faktor korrigieren** betätigt werden.

Alternativ können auch die beiden Sollwerte oder jeweils ein Sollwert und ein Rechenwert vorgegeben werden. **Korrektur löschen** verwirft die Korrektur.

### Abspeichern

Eine Korrektur wird zusammen mit den anderen Einstellungen des Programms abgespeichert. Damit die Korrektur nach einem erneuten Laden noch der Realität entspricht, ist darauf zu achten, dass die selben Elektroden und Sensorboxen am selben Sensor-CASSY wieder verwendet werden (evtl. Elektroden, Sensorboxen und CASSYs markieren).

### Beispiele

Zwei Pufferlösungen mit pH 3 und pH 9 sollen zur Korrektur verwendet werden. Dann sind die beiden Sollwerte 3 und 9 (rechts eingeben). Wenn die pH-Elektrode in der pH 3-Lösung eingetaucht ist, muss der Taster neben dem Sollwert 3 (z. B. **Offset korrigieren**) und bei pH 9-Lösung der andere Taster (z. B. **Faktor korrigieren**) betätigt werden.

Eine Leitfähigkeitselektrode mit dem K-Faktor 1,07 soll an die Software angepasst werden. Dazu ist lediglich der Faktor 1,07 in die zweite Zeile als Faktor einzugeben und **Faktor korrigieren** zu wählen.

### Besonderheit bei der Klima-Box (524 057)

Bei der Klima-Box muss vor der ersten Messung mit dem Feuchtesensor (529 057) dieser kalibriert werden. Dazu sind auf dem Feuchtesensor vier Werte C1 bis C4 angegeben. Wenn diese einmal eingegeben worden sind, werden sie im Sensor-CASSY gespeichert. Sie brauchen dann nicht noch einmal angegeben werden und stehen auch für eine spätere Messung mit dem CASSY-Display zur Verfügung.

❑ Siehe auch.

## Einstellungen Relais/Spannungsquelle

Sensor-CASSY bietet ein Relais R und eine über einen Drehknopf einstellbare Spannungsquelle S. Beide können von der Software geschaltet werden. Dazu müssen sie erst in der CASSY-Anordnung durch Anklicken aktiviert werden.

Am einfachsten ist die Synchronisation mit dem Start einer Messung (z. B. für einen Haltemagneten an der Spannungsquelle S). Dazu muss lediglich **Umschalten während automatischer Aufnahme** aktiviert werden.

Es lässt sich aber auch der Schaltzustand des Relais oder der Spannungsquelle explizit über eine Formel definieren. Eine Formel darf von allen Größen abhängen, die in der angezeigten Liste aufgeführt sind, und muss unter Beachtung der korrekten Formelschreibweise eingegeben werden (siehe auch Beispiele). Ein Formelergebnis ungleich 0 bedeutet AN=„eingeschaltet“, ein Formelergebnis gleich 0 bedeutet AUS=„ausgeschaltet“. Diese Formel wird nicht mehr während der Messung ausgewertet, wenn **Umschalten während automatischer Aufnahme** aktiviert ist.

### PWM-Analogausgang

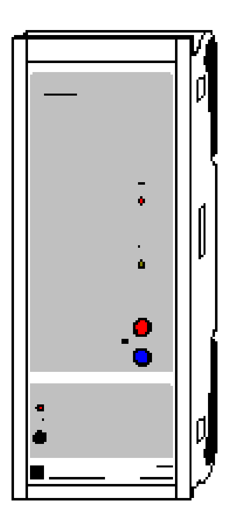
Die Spannungsquelle S ist eigentlich ein pulsweitenmodulierter Analogausgang. Die Maximalspannung wird am Drehknopf eingestellt. Die Formel steuert dann nicht nur AUS (=0) oder AN (=1), sondern erlaubt auch Zwischenwerte (z. B. 0,41 = abwechselnd 41 % der Zeit AN und 59 % der Zeit AUS mit einer Periodendauer von 10 ms). Für diese Zwischenwerte ist **Umschalten während automatischer Aufnahme** wirkungslos.

Mit diesem Analogausgang lassen sich also Baugruppen steuern, für die nur der Mittelwert oder der Effektivwert der Ausgangsspannung relevant ist (z. B. würde die Formel **saw(time/10)** eine kleine Glühlampe 5 s lang heller und 5 s lang wieder dunkler werden lassen).

Einen universelleren Analogausgang bietet das Power-CASSY.

❑ Siehe auch.

## Power-CASSY



### Einführung

Power-CASSY (USB bzw. seriell) ist ein kaskadierbares Interface nutzbar als programmierbare Spannungs- oder Stromquelle (Leistungsfunktionsgenerator) mit integrierter Strom- oder Spannungsmessung

- zum Anschluss an den USB-Port eines Computers (ab Windows 98/2000) bzw. die serielle Schnittstelle RS232, an ein weiteres CASSY-Modul oder an das CASSY-Display
- galvanisch getrennt
- bis zu 8 CASSY-Module kaskadierbar (dadurch Vervielfachung der Ein- und Ausgänge)
- mikrocontrollergesteuert mit CASSY-Betriebssystem (jederzeit bequem über Software für Leistungserweiterungen aktualisierbar)
- variabel aufstellbar als Tisch-, Pult- oder Demogerät (auch im CPS/TPS-Experimentierrahmen)
- Spannungsversorgung 12 V (nur Wechselspannung) über Hohlstecker

Developer Information für eigene Softwareentwicklung im Internet verfügbar

### Sicherheitshinweise

- Transport mehrerer kaskadierter CASSY-Module nur im Experimentierrahmen oder einzeln (die mechanische Stabilität der Kopplung ohne Experimentierrahmen reicht nur zum Experimentieren und nicht zum Transport aus).
- Zur Spannungsversorgung der CASSY-Module möglichst nur mitgeliefertes Steckernetzgerät (12 V / 1,6 A) verwenden.

Siehe auch.

## Technische Daten

1 Programmierbare Spannungsquelle mit gleichzeitiger Strommessung
(z. B. für Kennlinienaufnahme)

| | |
|---|---|
| Auflösung: | 12 Bit |
| Aussteuerbereich: | ±10 V |
| Messbereich: | ±0,1/0,3/1 A |
| Spannungsfehler: | ±1 % zuzüglich 0,5 % vom Bereichsendwert |
| Stromfehler: | Spannungsfehler zuzüglich ±1 % |
| Abtastrate: | 200.000 Werte/s (= 100.000 Werte/s Spannung und Strom) |
| Anzahl Messwerte: | praktisch unbegrenzt (PC-abhängig) bis 100 Werte/s, bei höherer Messrate max. 32.000 Werte (= 16.000 Werte für Spannung und Strom) |

1 Programmierbare Stromquelle mit gleichzeitiger Spannungsmessung
(alternativ zur Spannungsquelle wählbar)

| | |
|---|---|
| Aussteuerbereich: | ±1 A |
| Messbereich: | ±1/3/10 V |

weitere Daten siehe Spannungsquelle

1 USB-Port (USB-Version) bzw. serielle Schnittstelle RS232 (SubD-9) zum Anschluss eines Computers

1 CASSY-Bus zum Anschluss weiterer CASSY-Module oder des CASSY-Displays

| | |
|---|---|
| Abmessungen (BxHxT): | 115 mm x 295 mm x 45 mm |
| Masse: | 1,0 kg |

### Lieferumfang

1 Power-CASSY
1 Software CASSY Lab ohne Freischaltcode für Windows 95/98/NT oder höher mit ausführlicher Hilfe (20 Nutzungen frei, dann als Demoversion nutzbar)
1 Installationsanleitung
1 USB-Kabel bzw. serielles Kabel (SubD-9)
1 Steckernetzgerät 12 V / 1,6 A

### Hinweise zur Leistungsgrenze

Das Power-CASSY kann bedingt durch die Leistungsfähigkeit des mitgelieferten Steckernetzgeräts nicht in allen Fällen einen Gleichstrom von 1 A bei 10 V garantieren. Erst wenn ein zweites Steckernetzgerät (nicht im Lieferumfang enthalten) eingesteckt ist, hat das Power-CASSY auch in solchen Grenzfällen noch ausreichend Leistungsreserven.

Die Abtastrate von 100 kHz für den Ausgabekanal begrenzt die ausgegebene Frequenz auf maximal 10 kHz. Dabei ist die Signalform mit 10 µs aufgelöst, besteht also aus mindestens 10 Punkten pro Periode jeweils im Abstand von 10 µs. Lässt sich damit die eingestellte Frequenz oder das Tastverhältnis nicht exakt erreichen, dann wird versucht, beide Vorgaben über eine längere Zeit gemittelt möglichst genau zu erreichen.

Wird Power-CASSY als Stromquelle betrieben, wird die maximale Frequenz zusätzlich durch eine virtuelle Ausgangskapazität von bis zu 10 µF verringert. Bei einer ohmschen Last von R = 100 Ω ergibt die Ausgangskapazität eine Zeitkonstante von R*C=1 ms und damit eine Grenzfrequenz von etwa 1000 Hz. Bei induktiven Lasten liegt die Grenzfrequenz noch deutlich darunter (ein Widerstand in Serie mit der Induktivität kann helfen). Bei kapazitiven Lasten liegt die wirksame Kapazität um bis zu 10 µF höher.

❑ Siehe auch.

## Einstellungen Funktionsgenerator

Das Power-CASSY ist ein computergesteuerter Leistungsfunktionsgenerator. Die Stellgröße des Funktionsgenerators ist wahlweise die Spannung U (Spannungsquelle) oder der Strom I (Stromquelle). Beim Betrieb als Spannungsquelle wird gleichzeitig der fließende Strom I und im Betrieb als Stromquelle die anliegende Spannung U gemessen. Stellbereich und Messbereich sind dabei wählbar.

Die Ausgabe des Funktionsgenerators kann durch **nur während einer Messung aktiv (single shot)** auf die eigentliche Messzeit beschränkt werden. Zwischen zwei Messungen ist der Funktionsgenerator dann aus und es ist dann auch keine Bestimmung von Mittelwerten oder Effektivwerten möglich.

Die ausgegebene Kurvenform, Frequenz f (in Hz oder kHz), Amplitude A (in Vp oder Ap), Gleichspannungsoffset O (in V= oder A=) und Tastverhältnis (in %) kann in bestimmten Bereichen eingestellt werden:

| **Kurvenform** | **Frequenz f** | **Amplitude A** | **Offset O** | **Tastverhältnis** |
|---|---|---|---|---|
| DC | - | - | -10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A | - |
| Sinus | 0,1 Hz - 10 kHz | -10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A | -10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A | 0 % .. 100 % |
| Rechteck | 0,1 Hz - 10 kHz | -10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A | -10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A | 0 % .. 100 % |
| Dreieck | 0,1 Hz - 10 kHz | -10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A | -10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A | 0 % .. 100 % |
| Formel | 0,1 Hz - 10 kHz | -10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A | -10 V .. 10 V / -1 A .. 1 A | - |

Rechteck und Dreieck stehen in zwei Varianten zur Verfügung. Die symmetrische Kurvenform liegt zwischen -A und +A. Die asymmetrische Kurvenform zwischen 0 und +A.

Negative Amplituden A sind erlaubt und spiegeln das Signal um 0. Das Tastverhältnis legt das Verhältnis zwischen ansteigenden und abfallenden Kurventeilen fest. So kann z. B. leicht aus einem Dreiecksignal (50 %) ein Sägezahnsignal (100 %) werden.

Zusätzlich zu den üblichen Kurvenformen bietet das Power-CASSY auch eine frei programmierbare Kurvenform. Dazu muss eine Formel f(x) eingegeben werden, die die Kurvenform beschreibt. Zur Ermittlung der Kurvenform wird diese Funktion der Variablen x im Intervall [0,1[ ausgewertet und mit der angegebenen Frequenz f, Amplitude A und Offset O ausgegeben. Zur Formeleingabe gelten die auch sonst üblichen Regeln. Außerdem erlaubt die Funktion **synth(a:b:c:...)** die Definition einer harmonischen Zusammensetzung nach **a*sin(360*x)+b*sin(2*360*x)+c*sin(3*360*x)+...**. Das Signal wird auch wieder mit der angegebenen Frequenz f, Amplitude A und Offset O ausgegeben (siehe auch das Beispiel zur Tonsynthese).

Das Feld zur Formeleingabe ist relativ klein. Für die Eingabe längerer Formeln kann auch ein üblicher Texteditor verwendet werden und dann die Formel über Kopieren und Einfügen in das Eingabefeld (rechte Maustaste) übertragen werden.

Die Spannung U und der Strom I können als Momentanwert dargestellt, über viele Messwerte gemittelt oder ihr Effektivwert bestimmt werden. Normalerweise reicht eine ungemittelte Darstellung der **Momentanwerte** aus. Wenn Power-CASSY kontinuierlich aktiv ist (und nicht nur während einer Messung), dann können auch **gemittelte Werte** oder **Effektivwerte** (erzeugt automatisch den entsprechenden cos φ-Kanal) angezeigt werden. Wenn das Zeitintervall kleiner als 10 ms ist, weicht in den letzten beiden Fällen die Messwertaufnahme in die Tabelle und in das Diagramm von den Anzeigeinstrumenten ab. Dadurch ist es gleichzeitig möglich, Kurvenformen und Effektivwerte darzustellen.

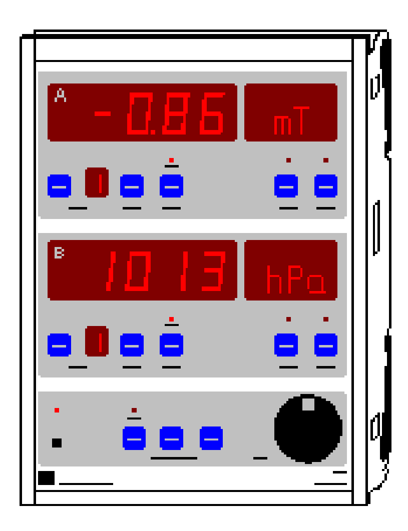
### Tipp

Anstelle von festen Zahlenwerten lassen sich auch bereits definierte Kanäle für Frequenz, Amplitude, Offset und Tastverhältnis angeben. So lässt sich z. B. die Frequenz einer Sinusschwingung oder die ausgegebene Spannung flexibel steuern (z. B. durch Formelvorgabe bei Resonanzkurvenaufnahmen oder Regelungen). Allerdings kann die Initialisierung der Ausgabe einer neuen Frequenz (oder Amplitude, Offset, Tastverhältnis) im Power-CASSY ein paar 100 ms dauern. Die Parameter können daher nur schrittweise und nicht kontinuierlich erhöht werden.

Siehe auch.



## CASSY-Display




### Einführung

CASSY-Display (USB bzw. seriell) ist eine 2-kanalige Anzeige für die Messwertanzeige ohne Computer

- mikrocontrollergesteuert mit CASSY-Betriebssystem (jederzeit bequem über Software für Leistungserweiterungen aktualisierbar)
- variabel aufstellbar als Tisch-, Pult- oder Demogerät (auch im CPS/TPS-Experimentierrahmen)
- unterstützt bis zu 8 Sensor-CASSYs (entspricht 16 Messkanäle)
- Messung geschieht im Sensor-CASSY oder einer dort aufgesteckten Sensorbox (Messgrößen und -bereiche siehe dort)
- Messwerte einzeln umschaltbar und kalibrierbar. Messgröße und Einheit werden bei auf- oder umgesteckter Sensorbox automatisch umgeschaltet
- mit integrierter Echtzeituhr und Datenlogger
  Datenspeicher für bis zu 32.000 Messwerte bleibt beim Ausschalten erhalten und kann so später über den USB-Port (ab Windows 98/2000) bzw. über die serielle Schnittstelle von einem Computer ausgelesen werden
- Spannungsversorgung 12 V AC/DC über Hohlstecker

### Sicherheitshinweise

- Transport mehrerer kaskadierter CASSY-Module nur im Experimentierrahmen oder einzeln (die mechanische Stabilität der Kopplung ohne Experimentierrahmen reicht nur zum Experimentieren und nicht zum Transport aus).
- Zur Spannungsversorgung der CASSY-Module möglichst nur Steckernetzgerät (12 V / 1,6 A) verwenden.

## Datenlogger

Das CASSY-Display hat einen integrierten Datenspeicher, in dem es Messdaten abspeichern kann. Von dort aus können die Daten später von CASSY Lab ausgelesen werden. Wenn das CASSY-Display am Computer angeschlossen ist, wird es in der aktuellen Anordnung der CASSY-Module auf der CASSY-Seite der Einstellungen dargestellt. Das Auslesen der Daten geschieht dann einfach über Anklicken von **Daten auslesen**.

Gleichzeitig wird dabei auch die Echtzeituhr des CASSY-Displays auf die Systemzeit des Computers gestellt. Bitte sorgen Sie daher für eine korrekte Systemzeit des Computers.

Für die weitere Bedienung des CASSY-Displays bitte die dort beiliegende Gebrauchsanweisung beachten.

## Andere serielle Geräte

CASSY Lab unterstützt neben dem CASSY auch andere serielle Geräte. Sie können auch gleichzeitig zu CASSY an einer anderen freien seriellen Schnittstelle verwendet werden. Dazu gehören:

- ASCII (einstellbar)
- Waage (div. Hersteller)
- VideoCom (337 47)
- IRPD (332 11)
- Metra Hit (531 28 - 531 30)
- Temperaturmessgerät (666 209 / 666 454)
- Digitales Spektralphotometer (667 3491)
- Data Logger (666 252)
- pH-Meter (666 221)
- Conductivity-Meter (666 222)
- Lux-Meter (666 223 / 666 230)
- O2-Meter (666 224)
- Photo-Meter (666 225)
- Sound-Level-Meter (666 231)
- Optical Power-Meter (736 435)
- Antennendrehtisch (737 405)

## ASCII, Waage, VideoCom, IRPD

Neben Waagen, VideoCom (337 47) und IR Position Detector (332 11) werden auch beliebige Geräte an der seriellen Schnittstelle unterstützt, solange sie ASCII-Daten (Klartext, Zahl und Einheit, Mode 8N1 = 8 Datenbits, keine Parität, 1 Stoppbit oder Mode 7E1 = 7 Datenbits, gerade Parität, 1 Stoppbit) senden. Es wird dann nur die vorgegebene Einheit mit der gesendeten Einheit verglichen. Stimmen diese mindestens am Anfang überein, dann wird der gesendete Zahlenwert als Messwert angezeigt. Wird keine Einheit angegeben, werden alle gesendeten Zahlenwerte angezeigt.

Bei VideoCom und dem IRPD ist die Baudrate fest vorgegeben. Da Waagen und andere Geräte mit unterschiedlichen Baudraten arbeiten können, ist diese dann einstellbar.

### Problemlösungen

Werden keine Messwerte angezeigt, kann dies unterschiedliche Gründe haben:

- Serielle Schnittstelle falsch angegeben
- Schnittstellenparameter falsch: Stellen Sie sicher, dass das Gerät mit der gleichen Baudrate und im gleichen Mode (8N1 = 8 Datenbits, keine Parität, 1 Stoppbit oder 7E1 = 7 Datenbits, gerade Parität, 1 Stoppbit) sendet. VideoCom und IRPD erfüllen dies immer.
- Verbindungskabel falsch: Je nach Gerät kann ein ungekreuztes Kabel (1:1-Kabel) oder ein gekreuztes Kabel (Nullmodemkabel) notwendig sein. VideoCom und IRPD benötigen ein 1:1-Kabel, Waagen in der Regel ein Nullmodemkabel.
- Einheit falsch: Zu Testzwecken kann die Einheit gelöscht werden. Dann werden alle Zahlenwerte angezeigt. Bei VideoCom und IRPD stimmt die Einheit immer.
- Gerät sendet nicht: Überprüfen Sie dies mit einem Terminalprogramm wie Hyperterminal (gehört zu Windows, eine Nachinstallation dieser Komponente in der Systemsteuerung kann aber notwendig sein).

### Einschränkungen bei VideoCom

Der angegebene Anzeigebereich wird gleichzeitig zur Wegkalibrierung von VideoCom verwendet und sollte daher der Breite des Sichtfeldes von VideoCom entsprechen.

Es wird nur die Position des ersten erkannten Reflexes angezeigt. Für mehrere Positionen kann nach wie vor die VideoCom-Software verwendet werden.

Die Messung wird nicht zeitsynchron durchgeführt. VideoCom sendet zwar 80 Positionen pro Sekunde, doch die Software synchronisiert die Messwertaufnahme nicht darauf. Es sollte also ein Zeitintervall von mindestens 100 ms zur Messung verwendet werden. Dies reicht für die typische VideoCom-Anwendung zusammen mit CASSY auch aus (Positionsregelung).

## MetraHit

Es wird ein MetraHit 14S bis 18S (531 28 - 531 30) unterstützt, wenn dieses mit einem Schnittstellen-adapter (531 31) ausgerüstet ist.

Die Messgröße muss entsprechend der Einstellung am MetraHit gewählt werden. Der angegebene Anzeigebereich kann jederzeit verändert werden und hat mit dem eigentlichen Messbereich im MetraHit nichts zu tun. Wenn der Messbereich im MetraHit umgestellt wird, bleibt der Anzeigebereich in der Software erhalten, bis er auch dort verändert wird.

Die unterschiedlichen MetraHits messen unterschiedlich viele signifikante Nachkommastellen. Um eine identische Anzeige zu erhalten, kann die Software **eine Nachkommastelle unterdrücken**.

### Problemlösungen

Werden keine Messwerte angezeigt, kann dies unterschiedliche Gründe haben:

- Serielle Schnittstelle falsch angegeben
- Verbindungskabel falsch: Verwenden Sie das ungekreuzte Kabel (1:1-Kabel), welches zum Schnittstellenadapter (531 31) gehört.
- Messgröße falsch: Stellen Sie am Gerät und in der Software die richtige Messgröße ein.
- LED am Schnittstellenadapter blinkt nicht: Aktivieren Sie die Datenübertragung am MetraHit (gleichzeitig **DATA** und **ON** drücken).

## Temperaturmessgerät

Es wird das Temperaturmessgerät (666 209 oder 666 454) unterstützt. Alle vier Temperaturen erhalten jeweils ein Anzeigeinstrument, welches im Hauptfenster bei den Speed-Buttons einsortiert wird.

Der angegebene Anzeigebereich kann jederzeit verändert werden und hat mit dem eigentlichen Messbereich im Temperaturmessgerät nichts zu tun.

Das Temperaturmessgerät verfügt über einen Messwertspeicher, der ausgelesen werden kann. Dazu muss lediglich **Speicher auslesen** betätigt werden.

### Problemlösungen

Werden keine Messwerte angezeigt, kann dies unterschiedliche Gründe haben:

- Serielle Schnittstelle falsch angegeben
- Verbindungskabel falsch: Verwenden Sie ein ungekreuztes Kabel (1:1-Kabel).
- Falsches Gerät ausgewählt: Überprüfen Sie die Katalognummer des Geräts mit der Angabe im Dialogfenster. Alte Versionen des Temperaturmessgeräts lassen sich als **ASCII (einstellbar)** betreiben.
- Kein Temperaturfühler eingesteckt

## Digitales Spektralphotometer

Es wird das Digitale Spektralphotometer (667 3491) unterstützt. Sowohl die aktuelle Wellenlänge $\lambda$ als auch die aktuell gemessene Transmission T in Prozent erhalten jeweils ein Anzeigeinstrument, welches im Hauptfenster bei den Speed-Buttons einsortiert wird.

Sollen zusätzlich auch die Werte der Absorption (100-T) oder der Extinktion (-log(T/100)) angezeigt werden, können diese Werte durch Formeln berechnet werden oder die Einstellungen des entsprechenden Versuchsbeispiels geladen werden.

### Problemlösungen

Werden keine Messwerte angezeigt, kann dies unterschiedliche Gründe haben:

- Serielle Schnittstelle falsch angegeben
- Verbindungskabel falsch: Verwenden Sie nur das mitgelieferte Kabel.
- Falsches Gerät ausgewählt: Überprüfen Sie die Katalognummer des Geräts mit der Angabe im Dialogfenster.

## Handmessgeräte und Data Logger

Es werden alle Geräte aus der Handmessgeräteserie sowie der dazugehörende Data Logger unterstützt:

- Data Logger (666 252)
- pH-Meter (666 221)
- Conductivity-Meter (666 222)
- Lux-Meter (666 223 / 666 230)
- $O_2$-Meter (666 224)
- Photo-Meter (666 225)
- Sound-Level-Meter (666 231)
- Optical Power-Meter (736 435)

Jedes Handmessgerät kann aber nur einmal angeschlossen werden. Soll ein Handmessgerät gleichzeitig mehrmals verwendet werden (z. B. zwei pH-Meter), so müssen diese Geräte über den Data Logger angeschlossen werden.

Der angegebene Anzeigebereich kann jederzeit verändert werden und hat mit dem eigentlichen Messbereich im Handmessgerät nichts zu tun. Wenn der Messbereich im Gerät umgestellt wird, bleibt der Anzeigebereich in der Software erhalten, bis er auch dort verändert wird.

Zu jeder Messgröße wird ein Anzeigeinstrument erzeugt, welches im Hauptfenster bei den Speed-Buttons einsortiert wird.

Der Data Logger sowie das Sound-Level-Meter verfügt über einen Messwertspeicher, der ausgelesen werden kann. Dazu muss **Speicher auslesen** betätigt sowie am Gerät das Senden der Werte initiiert werden.

#### Problemlösungen

Werden keine Messwerte angezeigt, kann dies unterschiedliche Gründe haben:

- Serielle Schnittstelle falsch angegeben
- Verbindungskabel falsch: Verwenden Sie nur das spezielle Computeranschlusskabel (666 251).
- Falsches Gerät ausgewählt: Überprüfen Sie die Katalognummer des Geräts mit der Angabe im Dialogfenster.
- Messgröße falsch: Stellen Sie am Gerät die richtige Messgröße ein.

## Antennendrehtisch

Es wird der Antennendrehtisch (737 405) unterstützt. Neben zahlreichen vordefinierten Versuchsbeispielen können für den optimalen Einsatz folgende Parameter manuell verändert werden:

- **Bereich von**
  Startwinkel in Grad für die Messung angeben, z. B. –180
- **Bereich bis**
  Zielwinkel in Grad angeben, z. B. 180
- **Winkelschritt**
  Auswahlmenü für die Winkelauflösung, Drehintervalle sind zwischen 0,5° / 1° / 2° auswählbar.
- **Biasstrom**
  ein / ausschaltbar. Die in der Dipolantenne (737 411) verwendete Schottky Detektor Diode benötigt einen kleinen DC-Vorstrom (Bias) in der Größenordnung von 15 µA. Ohne diesen Vorstrom sinkt die Empfindlichkeit des Detektors deutlich ab.
- **Gunn-Modulation**
  Überlagert der DC-Versorgung für den Gunn-Oszillator eine Rechteckspannung von ca. 1 kHz, 1 Vpp. Nur einschalten, falls kein PIN-Modulator (737 05) vorhanden ist.
- **Detektorcharakteristik**
  Die Testantennen müssen immer mit einem Detektor verbunden werden (z. B. Koax-Detektor 737 03), bzw. sie besitzen eine fest eingebaute Detektordiode. Das eigentliche Antennensignal A vor dem Detektor kann nicht direkt gemessen werden sondern nur der Spannungsabfall U, den der Detektorstrom am Messverstärker erzeugt. Im Allgemeinen ist A nicht proportional zu U.

Auswählbar sind:
- Quadratischer Detektor: A ∝ U^(1/2) (gute Näherung für kleine Empfangsspannungen U < 5 mV)
- Linearer Detektor: A ∝ U (Näherung für große Empfangsspannungen U > 5 mV)
- Frei: A ∝ U^(1/m) (hier muss die Detektorcharakteristik m selbst eingeben werden, z. B. nach Kontrollmessung mit einem kalibrierten Dämpfungsglied 737 09).

- **Fernfeld-Rechner**
Eingabe von $D_T$ (größte Querabmessung der Testantenne in mm). Unter Berücksichtigung der Ausdehnung der Sendeantenne $D_Q$ (z. B. große Hornantenne 737 21: $D_Q$ = 100 mm) und der Wellenlänge $\lambda_0$ = 32 mm wird der Minimalabstand $r_0$ zwischen Sende- und Empfangsantenne errechnet, ab dem mit Fernfeldbedingungen gerechnet werden kann:
$$r_0 \geq \frac{2(D_Q + D_T)^2}{\lambda_0}$$
- **Pegel normieren**
Bildet den Quotienten A= $U/U_{max}$, im Maximum also 1. Für das logarithmische Dämpfungsmaß a gilt im Maximum a = 0 dB.
- **Maximum auf 0° drehen**
Bringt das Maximum der Messkurve auf 0°. Mit den beiden Pfeiltasten kann die Messkurve manuell gedreht oder verschoben werden. Achtung Cursorbetrieb: Die Messinstrumente (z. B. Pegel A oder Winkel $\vartheta$) geben den aktuellen Messwert wieder und nicht die Position des Cursors im Diagramm oder der Tabelle!
- **Referenzpunkt anfahren**
Bricht die aktuelle Messung ab und fährt den Drehtisch in die Startposition nach +/-180°. Das ist z.B. nötig, wenn der freie Lauf des Drehtellers behindert wurde und die Positionserfassung fehlerhaft wird.
- **Drehtisch anhalten**
Stoppt den Drehtisch. Statische Messungen sind möglich, z. B. für die Bestimmung des Antennengewinns. Eine schrittweise Steuerung des Drehtisches ist über die Pfeiltasten möglich.

### Problemlösungen

Werden keine Messwerte angezeigt, kann dies unterschiedliche Gründe haben:

- Serielle Schnittstelle falsch angegeben
- Verbindungskabel falsch: Verwenden Sie ein ungekreuztes Kabel (1:1-Kabel).
- Falsches Gerät ausgewählt: Überprüfen Sie die Katalognummer des Geräts mit der Angabe im Dialogfenster.

## Versuchsbeispiele Physik

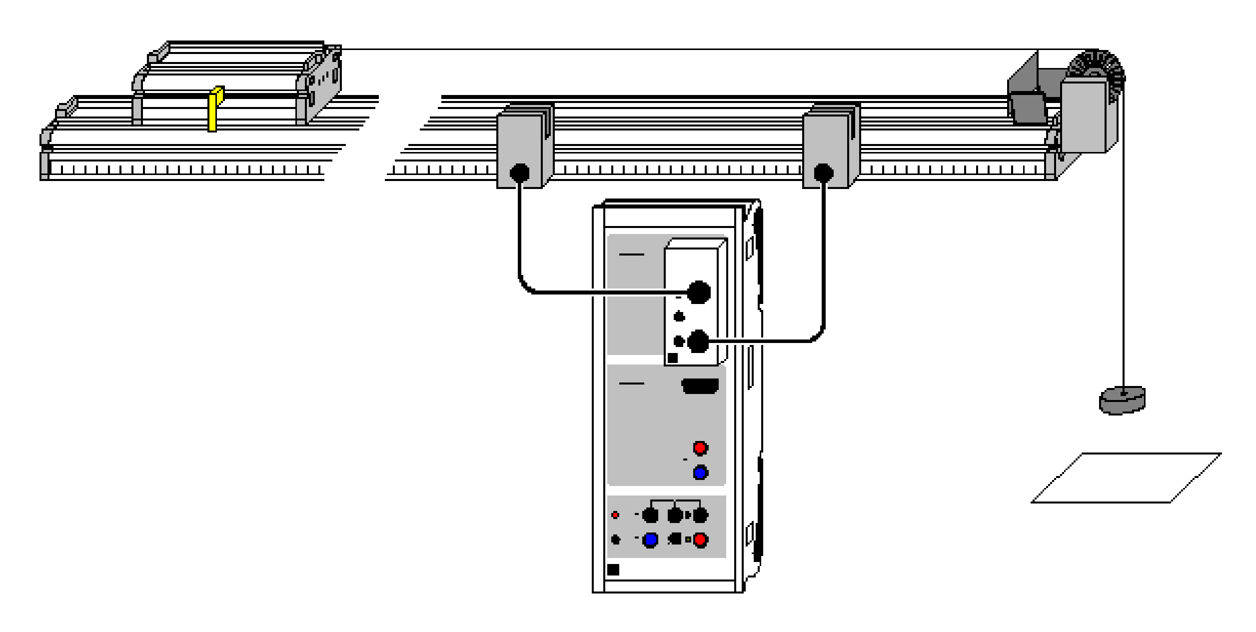
Die Versuchsbeispiele helfen Ihnen beim Einsatz von CASSY Lab. Gegebenenfalls ist die entsprechende Kennzahl des Hauptkatalogs Physikversuche mit angegeben. Die Messdaten oder Einstellungen der Beispiele können direkt in CASSY Lab geladen werden. Klicken Sie einfach auf die ■-Zeichen in den Beschreibungen. Neue Beispiele sind mit einem roten • gekennzeichnet.

- Gleichförmige Bewegungen zwischen zwei Lichtschranken
- Beschleunigte Bewegungen zwischen Haltemagnet und Lichtschranke
- P1.3.2.2 Bewegungen mit Speichenrad (Newtondefinition)
- P1.3.3.4-6 Bewegungen auf der Luftkissenfahrbahn (Newtonsche Bewegungsgleichung)
- P1.3.4.1-2 Impuls- und Energieerhaltung (Stoß)
- Impulserhaltung durch Messung der Schwerpunktbewegung (Stoß)
- Actio=Reactio durch Messung der Beschleunigungen (Stoß)
- P1.3.5.3 Freier Fall mit g-Leiter
- P1.4.1.2 Drehbewegungen (Newtonsche Bewegungsgleichung)
- P1.4.2.1-2 Drehimpuls- und Energieerhaltung (Drehstoß)
- Zentrifugalkraft
- P1.5.2.1 Harmonische Schwingungen eines Federpendels
- Gekoppelte Pendel
- P1.7.1.3 Akustische Schwebungen
- P1.7.3.3 Schallgeschwindigkeit in Luft
- Schallgeschwindigkeit in Luft mit 2 Mikrofonen
- P1.7.3.5 Schallgeschwindigkeit in Festkörpern
- P1.7.7.4 Tonanalyse
- Tonsynthese
- P2.6.2.4 pV-Diagramm eines Heißluftmotors
- P3.1.2.3 Coulombsches Gesetz
- P3.3.3.3 Kraft im magnetischen Feld einer Luftspule
- P3.3.3.2 Kraft im magnetischen Feld eines Elektromagneten
- P3.3.3.4 Kraft zwischen stromdurchflossenen Leitern (Amperedefinition)
- P3.4.1.1 Spannungsstoß (Faradaysches Induktionsgesetz)
- P3.4.3.1 Induktion durch ein veränderliches Magnetfeld
- P3.4.5.3 Zeitabhängige Aufzeichnung von Spannung und Strom eines Transformators
- P3.4.5.4 Leistungsübertragung eines Transformators
- Auf- und Entladung eines Kondensators
- Gedämpfter Schwingkreis
- P1.7.7.3 Gekoppelte Schwingkreise
- Erzwungene Schwingungen (Resonanz)
- RLC-Filter (Tiefpass, Hochpass, Bandpass)
- P4.1.2.1 Kennlinie einer Glühlampe
- Kennlinie einer Diode
- Kennlinie eines Transistors
- Temperaturregelung
- P4.3.2.2 Helligkeitsregelung
- P4.3.2.3 Spannungsregelung
- P5.5.1.2 Quadratisches Abstandsgesetz für Licht
- P6.4.2.1 Poissonverteilung
- P6.4.3.2 Halbwertszeit von Radon
- P6.5.4.1 α-Spektroskopie an radioaktiven Proben (Am-241)
- P6.5.4.2 Bestimmung des Energieverlustes von α-Strahlung in Luft
- P6.5.4.3 Bestimmung des Energieverlustes von α-Strahlung in Aluminium und in Gold
- P6.5.4.4 Altersbestimmung an einer Ra-226 Probe
- P6.5.5.1 Nachweis von γ-Strahlung mit einem Szintillationszähler (Cs-137)
- P6.5.5.2 Aufnahme und Kalibrierung eines γ-Spektrums
- P6.5.5.3 Absorption von γ-Strahlung
- P6.5.5.4 Identifizierung und Aktivitätsbestimmung von schwach radioaktiven Proben
- P6.5.5.5 Aufnahme eines β-Spektrums mit einem Szintillationszähler



- P6.5.6.1 Quantitative Beobachtung des Compton Effekts
- Aufnahme des komplexen γ-Spektrums von Ra-226 und seinen Zerfallsprodukten
- Aufnahme des komplexen γ-Spektrums eines Glühstrumpfes
- Koinzidenz und γ-γ-Winkelkorrelation beim Zerfall von Positronen
- Messungen mit dem Einkanal-Analysator
- P7.2.2.1-2 Elektrische Leitung in Festkörpern
- P7.3.2.1 Hysterese von Trafoeisen

## Gleichförmige Bewegungen zwischen zwei Lichtschranken



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es werden die Zeiten t gemessen, die ein Fahrbahnwagen braucht, um verschiedene Wege s zwischen zwei Lichtschranken mit konstanter Geschwindigkeit v zurückzulegen. Dabei wird der Weg s auf einem Maßstab unmittelbar an der Fahrbahn abgelesen und das s(t)-Diagramm der Bewegung gezeichnet.

Zusätzlich können die Durchschnittsgeschwindigkeiten $v_m = s/t$ berechnet und in einem $v_m(t)$-Diagramm dargestellt werden.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Timer-Box | 524 034 |
| 1 | Fahrbahn | 337 130 |
| 1 | Fahrbahnwagen | 337 110 |
| 1 | Satz Antriebsmassen | 337 113 |
| 2 | Kombi-Lichtschranken | 337 462 |
| 1 | Halter für Kombi-Speichenrad | 337 463 |
| 1 | Kombi-Speichenrad | 337 464 |
| 1 | Angelschnur | 309 48 |
| 2 | Verbindungskabel, 6-polig | 501 16 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Die beiden Lichtschranken werden so an der Fahrbahn montiert, dass sie von der Unterbrecherfahne des Fahrbahnwagens unterbrochen werden. Die Lichtschranken werden an die Eingänge E und F der Timer-Box auf Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen. Die Bewegungsrichtung geht immer von der Lichtschranke an E zur Lichtschranke an F.

Um eine konstante Geschwindigkeit zwischen den beiden Lichtschranken zu erreichen, muss ein Reibungsausgleich durch geringfügiges Neigen der Fahrbahn erfolgen.

Vor jeder Messung muss der Fahrbahnwagen auf eine konstante reproduzierbare Geschwindigkeit beschleunigt werden. Dazu wird er von einer fixen Position aus von einer Antriebsmasse beschleunigt, die aber nach einem konstanten Beschleunigungsweg abgefangen wird (z. B. auf einer Unterlage aufliegt). Danach rollt der Wagen mit konstanter Geschwindigkeit weiter.

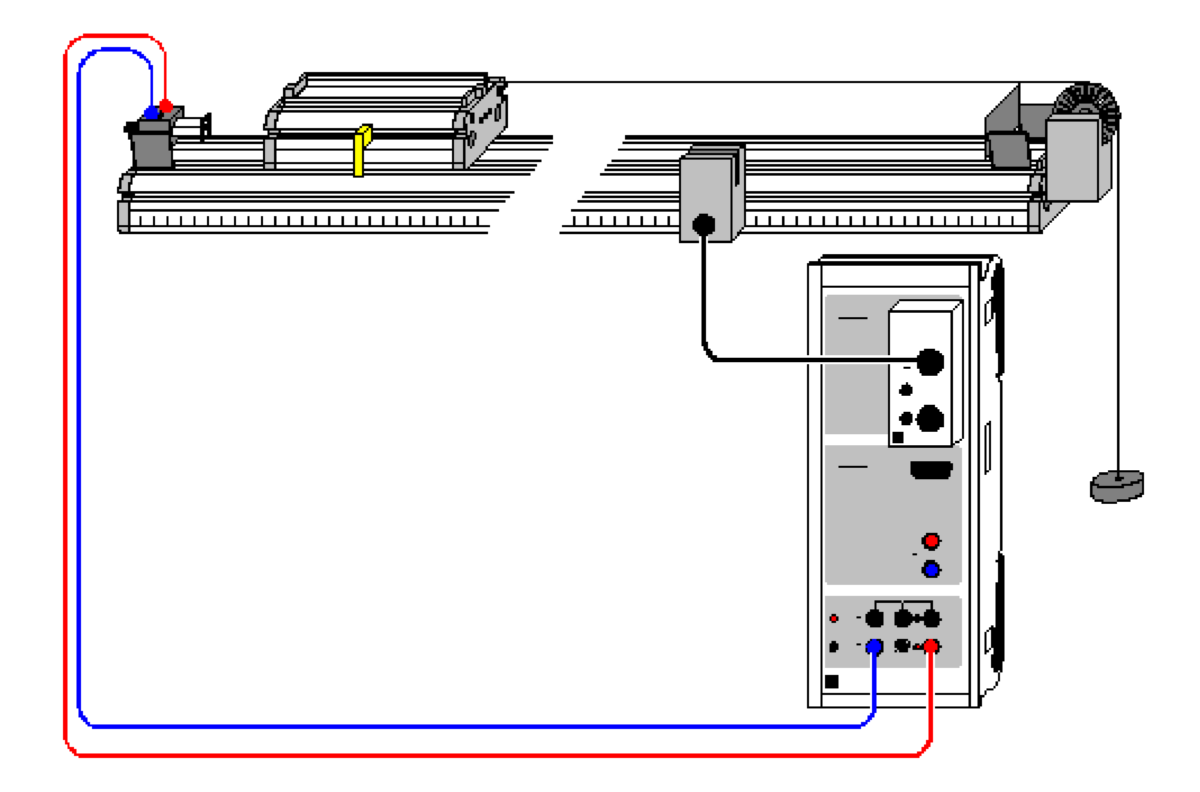
**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Wagen durch wie oben beschrieben auf konstante Geschwindigkeit beschleunigen und danach durch beide Lichtschranken fahren lassen
- Messwert mit **F9** abspeichern
- Weg s zwischen beiden Lichtschranken ablesen und in Tabelle eintragen – dazu Tabellenzelle mit der Maus anklicken
- Messung für andere Wege s wiederholen – dazu Wagen wieder auf die gleiche Geschwindigkeit beschleunigen, durch beide Lichtschranken fahren lassen und Messwert mit **F9** abspeichern

**Auswertung**

Das s(t)-Diagramm einer gleichförmigen Bewegung ist eine Gerade. Die Steigung der Geraden entspricht der Geschwindigkeit v und lässt sich z. B. aus einer Geradenanpassung ermitteln. In der Darstellung **Durchschnittsgeschwindigkeit** (mit der Maus anklicken) lassen sich die jeweiligen Quotienten $v_m = s/t$ auch direkt ablesen.

## Beschleunigte Bewegungen zwischen Haltemagnet und Lichtschranke



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es werden die Zeiten t gemessen, die ein gleichmäßig beschleunigter Fahrbahnwagen braucht, um verschiedene Wege s zwischen einem Haltemagneten und einer Lichtschranke zurückzulegen. Dabei wird der Weg s auf einem Maßstab unmittelbar an der Fahrbahn abgelesen und das s(t)-Diagramm der Bewegung gezeichnet.

Zusätzlich können die Durchschnittsgeschwindigkeiten $v_m = s/t$ berechnet und in einem $v_m(t)$-Diagramm dargestellt werden.

Außerdem werden die Dunkelzeiten $\Delta t$ der Lichtschranke ermittelt, die entstehen, weil die Lichtschranke durch eine Fahne der Breite $\Delta s$ unterbrochen wird. Daraus können dann in guter Näherung die Momentangeschwindigkeiten $v = \Delta s/\Delta t$ am Ort der Lichtschranke ermittelt und in einem v(t)-Diagramm dargestellt werden. Dabei wird der Unterschied zwischen Durchschnittsgeschwindigkeit und Momentangeschwindigkeit deutlich.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Timer-Box | 524 034 |
| 1 | Fahrbahn | 337 130 |
| 1 | Fahrbahnwagen | 337 110 |
| 1 | Satz Antriebsmassen | 337 113 |
| 1 | Haltemagnet | 684 41 |
| 1 | Kombi-Lichtschranke | 337 462 |
| 1 | Halter für Kombi-Speichenrad | 337 463 |
| 1 | Kombi-Speichenrad | 337 464 |
| 1 | Angelschnur | 309 48 |
| 1 | Verbindungskabel, 6-polig | 501 16 |
| 1 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Die Lichtschranke wird so an der Fahrbahn montiert, dass sie von der Unterbrecherfahne des Fahrbahnwagens unterbrochen wird. Die Lichtschranke wird an den Eingang E der Timer-Box auf Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen. Der Haltemagnet wird vom Spannungsausgang S des Sensor-CASSYs versorgt. Dieser wird gleichzeitig mit dem Start der Zeitmessung vom Sensor-CASSY abgeschaltet.

Um gute Messergebnisse zu erzielen, muss ein Reibungsausgleich durch geringfügiges Neigen der Fahrbahn erfolgen.

Wagen mit konstanter Masse über das Speichenrad beschleunigen. Haltemagnetspannung so einstellen, dass der Wagen gerade noch gehalten wird.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Evtl. maximale Messzeit im Messparameter-Fenster anpassen (aktuell 2 s)
- Wagen vom Haltemagneten festhalten lassen
- Messung mit **F9** starten (Wagen fährt los)
- Weg s zwischen Haltemagnet und Lichtschranke ablesen und in Tabelle eintragen – dazu Tabellenzelle mit der Maus anklicken
- Messung für andere Wege s wiederholen – dazu wieder Wagen vom Haltemagneten festhalten lassen und Messung mit **F9** starten

**Auswertung**

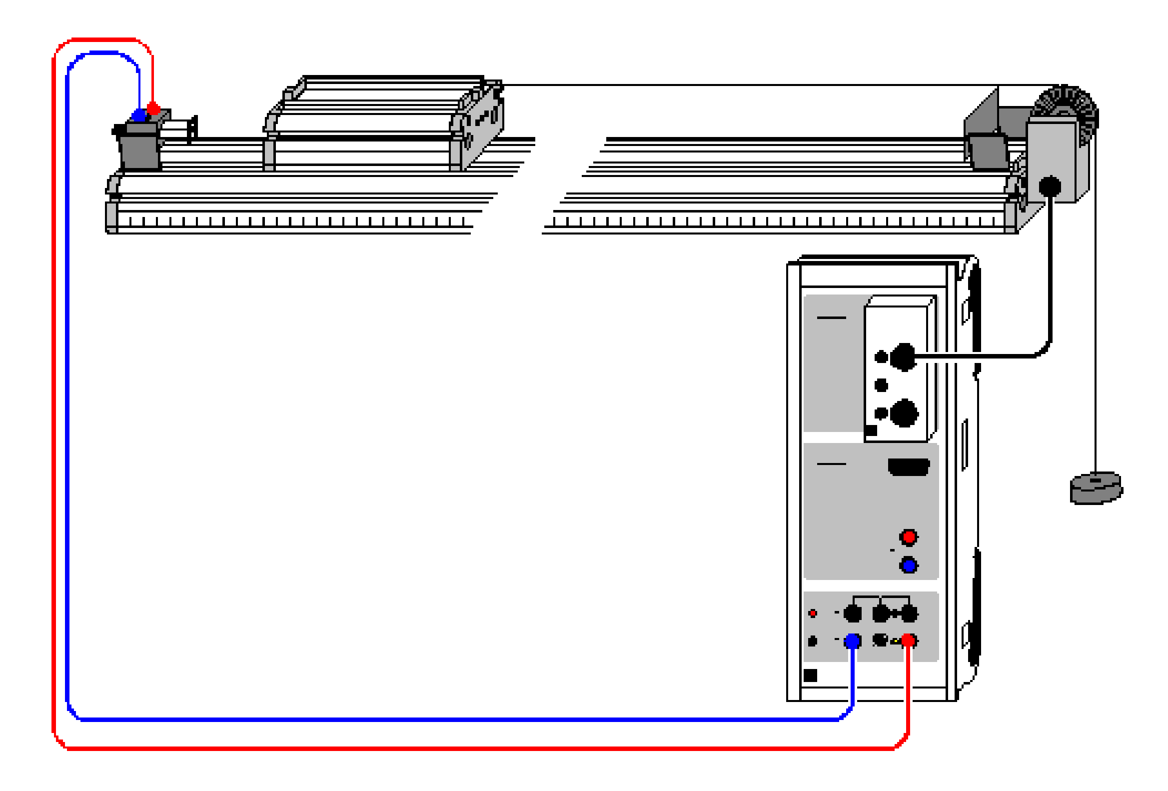
Das s(t)-Diagramm einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist eine Parabel. Dies lässt sich z. B. mit einer Parabelanpassung bestätigen.

Die Darstellung **Durchschnittsgeschwindigkeit** (mit der Maus anklicken) zeigt den Anstieg der Durchschnittsgeschwindigkeiten $v_m = s/t$. Diese entsprechen bei einer beschleunigten Bewegung aber **nicht** den Momentangeschwindigkeiten zum gleichen Zeitpunkt t.

Die Momentangeschwindigkeiten v ergeben sich in guter Näherung aus den Dunkelzeiten $\Delta t$ der Lichtschranke, die durch die Fahne der Breite $\Delta s$ unterbrochen wird. Beide zeitlichen Verläufe der Dunkelzeiten und der Momentangeschwindigkeiten lassen sich in den entsprechenden Darstellungen (mit der Maus anklicken) ablesen.

Es zeigt sich, dass das v(t)-Diagramm einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung eine Gerade ist. Die Steigung der Geraden entspricht der konstanten Beschleunigung a. Sie lässt sich z. B. aus einer Geradenanpassung bestimmen.

## Bewegungen mit Speichenrad (Newtondefinition)



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es werden Bewegungsabläufe untersucht, die über einen dünnen Faden auf ein Speichenrad übertragen werden können. Das Speichenrad dient als leichtlaufende Umlenkrolle und gleichzeitig zur Wegmessung. Die Speichenradsignale der Lichtschranke werden aufgenommen und in ein Weg-Zeit-Diagramm umgerechnet. Da dieses Diagramm gleichzeitig mit dem Ablauf des Experiments entsteht, wird eine anschauliche Verknüpfung zwischen Bewegungsablauf und Diagramm hergestellt.

Mit dem gleichen Versuchsablauf kann auch die Wirkung der Beschleunigung einer Masse m = 1 kg mit einer Kraft F = 1 N veranschaulicht werden. Die resultierende Beschleunigung a wird dann erwartungsgemäß zu a = 1 m/s² ermittelt (Newtondefinition).

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Timer-Box | 524 034 |
| 1 | Fahrbahn | 337 130 |
| 1 | Fahrbahnwagen | 337 110 |
| 1 | Newtonmassen | 337 115 |
| 1 | Haltemagnet | 683 41 |
| 1 | Kombi-Lichtschranke | 337 462 |
| 1 | Kombi-Speichenrad | 337 464 |
| 1 | Angelschnur | 309 48 |
| 1 | Verbindungskabel, 6-polig | 501 16 |
| 1 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Das Kombi-Speichenrad dient gleichzeitig als Umlenkrolle und als Signalgeber. Dazu wird das Speichenrad von der Kombi-Lichtschranke gehalten, die an den Eingang E der Timer-Box auf Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen wird. Jede Speiche unterbricht die Lichtschranke und gibt damit

jeden Zentimeter ein Signal an das Sensor-CASSY. Der Haltemagnet wird vom Spannungsausgang S des Sensor-CASSYs versorgt. Dieser wird gleichzeitig mit dem Start der Zeitmessung vom Sensor-CASSY abgeschaltet.

Um eine beschleunigende Kraft von F = 1 N zu erhalten, muss eine Antriebsmasse von 102 g gewählt werden. Damit die insgesamt beschleunigte Masse m = 1 kg beträgt, bleibt für den Wagen (inkl. der Rollenersatzmassen) eine Masse von 898 g übrig. Dies ist mit den Zusatzmassen zur Newtondefinition möglich.

Um gute Messergebnisse zu erzielen, muss ein Reibungsausgleich durch geringfügiges Neigen der Fahrbahn erfolgen.

Haltemagnetspannung so einstellen, dass der Wagen gerade noch gehalten wird.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Evtl. automatischen Messstopp in den Einstellungen SA1 anpassen (aktuell 70 Flanken für 0,7 m)
- Evtl. maximale Messzeit im Messparameter-Fenster anpassen (aktuell 2 s)
- Wagen vom Haltemagneten festhalten lassen
- Wegnullpunkt definieren (→ 0 ← in Einstellungen SA1)
- Messung mit **F9** starten (Wagen fährt los)
- Messung stoppt nach vorgegebener Flankenanzahl automatisch
- Evtl. Messung für andere beschleunigende Kräfte F wiederholen – dazu wieder Wagen vom Haltemagneten festhalten lassen, Wegnullpunkt definieren und Messung mit **F9** starten

### Auswertung

Das s(t)-Diagramm einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist eine Parabel. Dies lässt sich z. B. mit einer Parabelanpassung bestätigen.

Die Darstellung **Geschwindigkeit** (mit der Maus anklicken) zeigt die daraus berechneten Geschwindigkeiten v(t). Es zeigt sich, dass das v(t)-Diagramm einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung eine Gerade ist. Die Steigung der Geraden ist die konstante Beschleunigung a. Sie lässt sich z. B. aus einer Geradenanpassung bestimmen.

Im Beispiel wurde für die beschleunigende Kraft F = 1 N und für die beschleunigende Masse m = 1 kg gewählt (Newtondefinition). In diesem Fall ergibt sich aus dem v(t)-Diagramm eine Geschwindigkeit v nach t = 1 s von 1 m/s. Außerdem hat die Gerade im v(t)-Diagramm die Steigung a = 1 m/s².

### Anmerkung

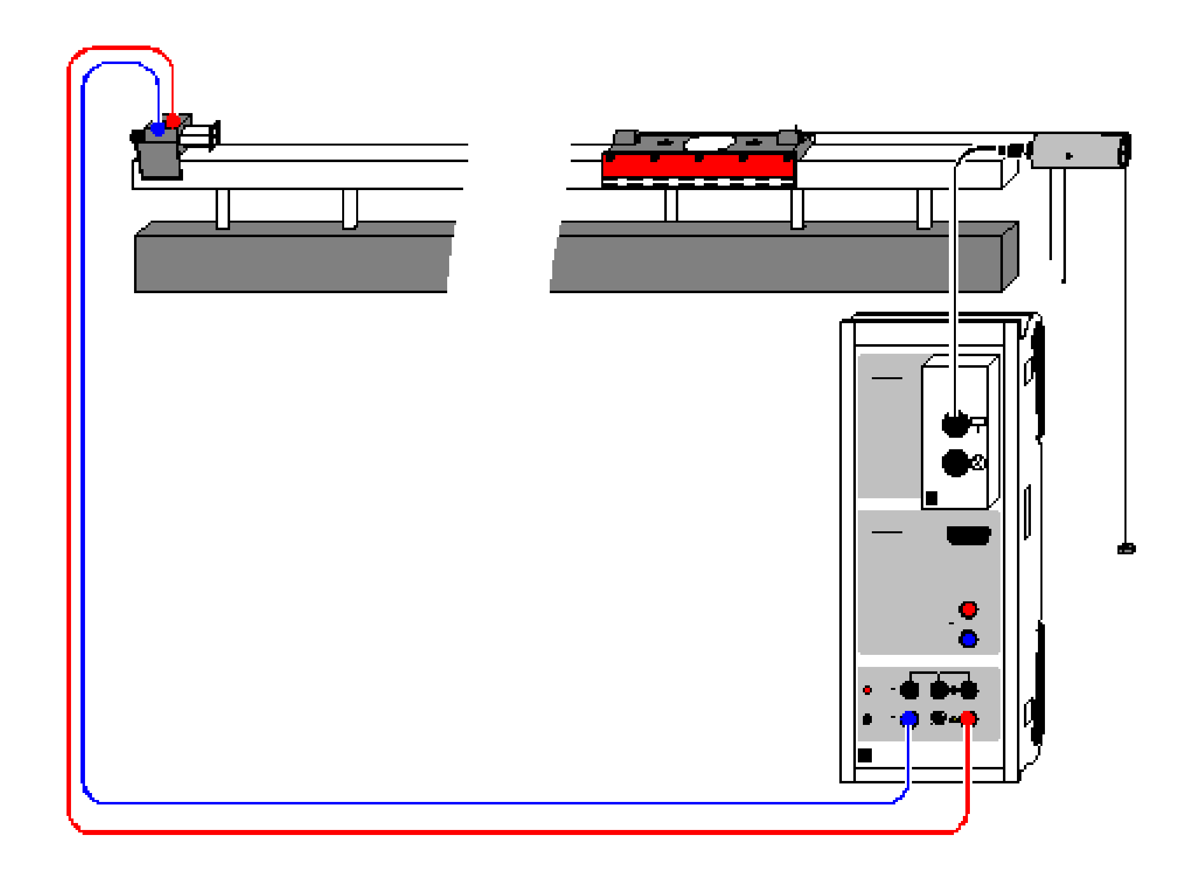
Die einzelnen Geschwindigkeitswerte v(i) werden als

v(i) = ( s(i+1) – s(i-1) ) / ( t(i+1) – t(i-1) )

errechnet. Dies ist die Durchschnittsgeschwindigkeit im Zeitintervall [t(i-1),t(i+1)] und in erster Näherung die Momentangeschwindigkeit zum Zeitpunkt ½ (t(i-1) + t(i+1)), also nicht zum Zeitpunkt t(i).

Dies wurde aber bei der v(t)-Darstellung bereits durch eine geeignet umgerechnete Zeitachse berücksichtigt.

## Bewegungen auf der Luftkissenfahrbahn (Newtonsche Bewegungsgleichung)



- Beispiel laden (m = konstant)
- Beispiel laden (F = konstant)

### Versuchsbeschreibung

Ein Wagen konstanter Masse m wird mit unterschiedlichen Kräften F beschleunigt. Die ermittelten Beschleunigungen a in Abhängigkeit von den beschleunigenden Kräften F aufgetragen ergibt F proportional a (mit m als Proportionalitätsfaktor) und bestätigt damit die Newtonsche Bewegungsgleichung $F=m\cdot a$.
Alternativ kann auch die beschleunigende Kraft F konstant gehalten und die Masse m variiert werden. Dies ergibt m proportional 1/a (mit F als Proportionalitätsfaktor).

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | BMW-Box | 524 032 |
| 1 | Luftkissenfahrbahn | 337 50 |
| 1 | Fahrbahngestell | 337 45 |
| 1 | Luftversorgung | 337 53 |
| 1 | Leistungsstellgerät | 667 823 |
| 1 | Bewegungsaufnehmer | 337 631 |
| 1 | Verbindungskabel, 6-polig | 501 16 |
| 1 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Zunächst wird die Luftkissenfahrbahn in Betrieb genommen und die Versorgungsspannung des Haltemagneten so eingestellt, dass der Wagen gerade noch festgehalten wird. Der Wagen wird durch kleine Massestücke beschleunigt, die am Übertragungsfaden hängen. Der Übertragungsfaden wird

um den Bewegungsaufnehmer geführt, der über die obere Buchse der BMW-Box am Sensor-CASSY angeschlossen ist.

Die kleinen Massestücke werden auch beschleunigt und zählen deshalb mit zur beschleunigten Masse m. Wenn die Masse m konstant gehalten werden soll, dann müssen die Massestücke, die gerade nicht am Faden hängen, dafür auf dem Wagen stecken.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden (m = konstant) oder
- Einstellungen laden (F = konstant)
- Maximal fahrbare Wegstrecke sA1 in Messbedingung des Messparameterfensters (erscheint mit **F5**) eingeben (aktuell **sA1 < 0,8** für 0,8 m)
- Eventuell Zeitintervall (aktuell 200 ms) im Messparameterfenster (erscheint mit **F5**) anpassen (längeres Intervall hat weniger Messwerte und weniger Streuungen in a(t) zur Folge)
- Gegebenenfalls Vorzeichen der Wegmessung invertieren (**s** ↔ **-s** in Einstellungen sA1)
- Wagen vom Haltemagneten festhalten lassen
- Wegnullpunkt definieren (→ 0 ← in Einstellungen sA1)
- Messung mit **F9** starten und am Ende wieder mit **F9** stoppen. Eine Fehlmessung kann durch **Letzte Messreihe löschen** (rechte Maustaste auf Tabelle) wieder aus der Tabelle entfernt werden.
- Messung mit veränderten Parametern (andere beschleunigende Kraft oder andere beschleunigte Masse) wiederholen. Dazu Wegnullpunkt wieder neu definieren.

### Auswertung

Zusätzlich zu den s(t)-Diagrammen werden die v(t)- und a(t)-Diagramme berechnet. Sie stehen auf den weiteren Darstellungsseiten zur Verfügung und brauchen nur angeklickt zu werden. Als Auswertungen bieten sich Parabel- und Geradenanpassung sowie Mittelwertberechnung an.

Zur Bestätigung der Newtonschen Bewegungsgleichung muss eine weitere Tabelle gefüllt werden, die auf der Newton-Seite der Darstellung schon vorbereitet ist. Nach der Bestimmung eines Beschleunigungswertes als Mittelwert eines a(t)- oder als Steigung eines v(t)-Diagramms kann dieser mit der Maus aus der Statuszeile in die Tabelle gezogen werden (Drag & Drop). Der Parameter Kraft F bzw. Masse m wird direkt über die Tastatur in die Tabelle eingetragen. Bereits während der Tabelleneingabe entsteht das gewünschte Diagramm. Die Achsen können nach Anklicken mit der rechten Maustaste leicht umgerechnet oder umskaliert werden (z. B. a → 1/a).

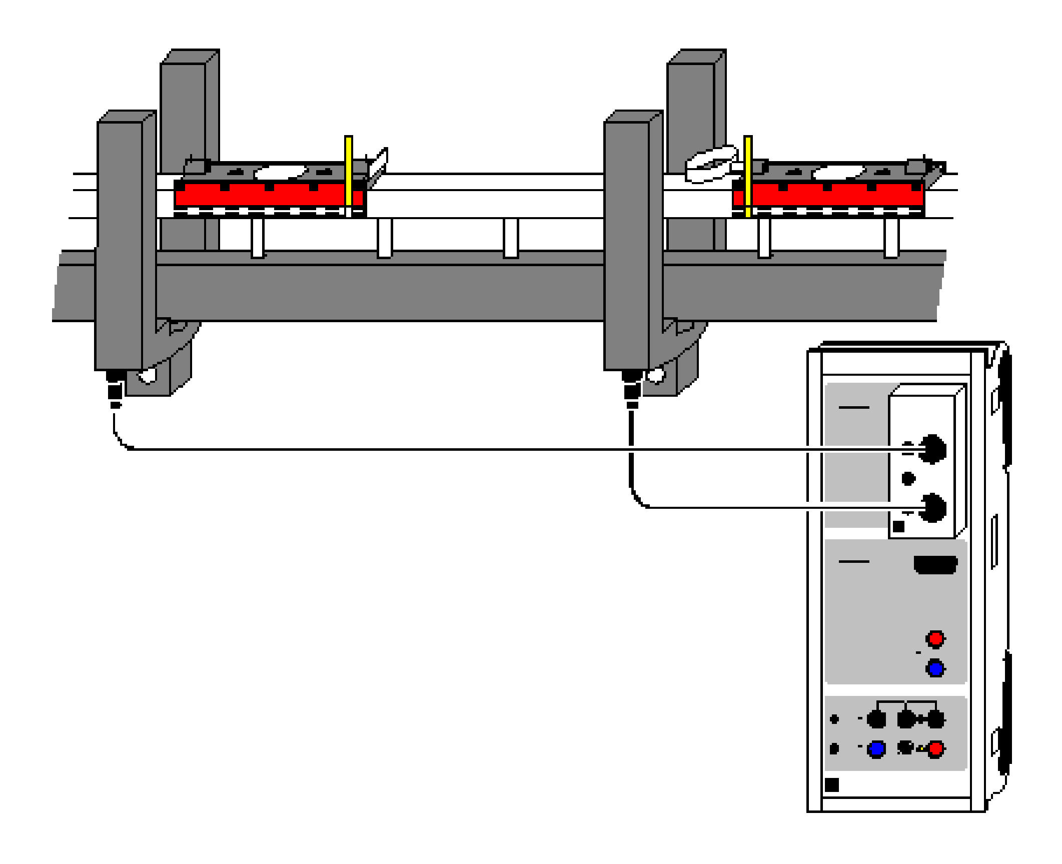
Als weitere Auswertung ist es möglich, durch zusätzliche Formeln z. B. die kinetische Energie mit der geleisteten Arbeit zu vergleichen. Die kinetische Energie ist

E = **0.5*m*v^2** (m als Zahlenwert eintippen)

und die geleistete Arbeit berechnet sich zu

W = **F*sA1** (F als Zahlenwert eintippen).

## Impuls- und Energieerhaltung (Stoß)



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Auf einer Luftkissenfahrbahn lassen sich die Geschwindigkeiten v zweier Wagen vor und nach ihrem Stoß aus den Verdunkelungszeiten zweier Lichtschranken ermitteln. Auf diese Weise lassen sich der Impulserhaltungssatz für den elastischen und unelastischen Stoß sowie der Energieerhaltungssatz für den elastischen Stoß bestätigen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Timer-Box | 524 034 |
| 1 | Luftkissenfahrbahn | 337 50 |
| 1 | Fahrbahngestell | 337 45 |
| 1 | Luftversorgung | 337 53 |
| 1 | Leistungsstellgerät | 667 823 |
| 2 | Gabellichtschranken | 337 46 |
| 2 | Verbindungskabel, 6-polig | 501 16 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Zunächst wird die Luftkissenfahrbahn in Betrieb genommen und die beiden Lichtschranken (an den Eingängen E und F der Timer-Box) so positioniert, dass der Stoß der beiden Wagen **zwischen** den Lichtschranken stattfinden wird. Die Fahnen der beiden Wagen müssen beim Durchfahren der Lichtschranken diese unterbrechen.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Massen $m_1$ und $m_2$ in die Tabelle eintragen (Feld unter $m_1$ und $m_2$ anklicken)
- Wagenanordnung vor dem Stoß in Relation zu den Lichtschranken E und F angeben (Einstellungen $v_1$, $v_2$, $v_1´$ oder $v_2´$). Es gibt vier verschiedene Anordnungen:
  beide Wagen außerhalb der Lichtschranken
  linker Wagen dazwischen und rechter Wagen außerhalb
  linker Wagen außerhalb und rechter Wagen dazwischen
  beide Wagen dazwischen (Explosion)
- Fahnenbreite angeben (auch Einstellungen $v_1$, $v_2$, $v_1´$ oder $v_2´$)
- Stoß durchführen (falls bereits vor dem Stoß Geschwindigkeiten angezeigt werden, können diese durch → 0 ← gelöscht werden) und darauf achten, dass keine überzähligen Impulse von den Lichtschranken registriert werden (z. B. durch Reflexion eines Wagens am Ende der Fahrbahn)
- Messung durch **Stoß-Ende** beenden (nach vier gemessenen Geschwindigkeiten beendet sich die Messung von selbst)
- Messwerte mit **F9** in die Tabelle für die Auswertung übernehmen oder mit → 0 ← nächste Messung initialisieren

**Auswertung**

Für die Impulse vor und nach dem Stoß, die Gesamtimpulse, Energien, Gesamtenergien sowie den Energieverlust sind eigene Tabellenseiten vorbereitet, in die die Messwerte mit **F9** übernommen werden. Zur Anzeige sind die Tabellenseiten anzuklicken. Sollen diese Größen bereits unmittelbar nach dem Stoß sichtbar sein, können die entsprechenden Anzeigeinstrumente geöffnet werden.

Außerdem können zusätzliche Formeln für einen Vergleich mit der Theorie definiert werden. Für den elastischen Stoß gilt

v1´ = (2*m2*v2 + (m1-m2)*v1) / (m1+m2)
v2´ = (2*m1*v1 + (m2-m1)*v2) / (m1+m2)

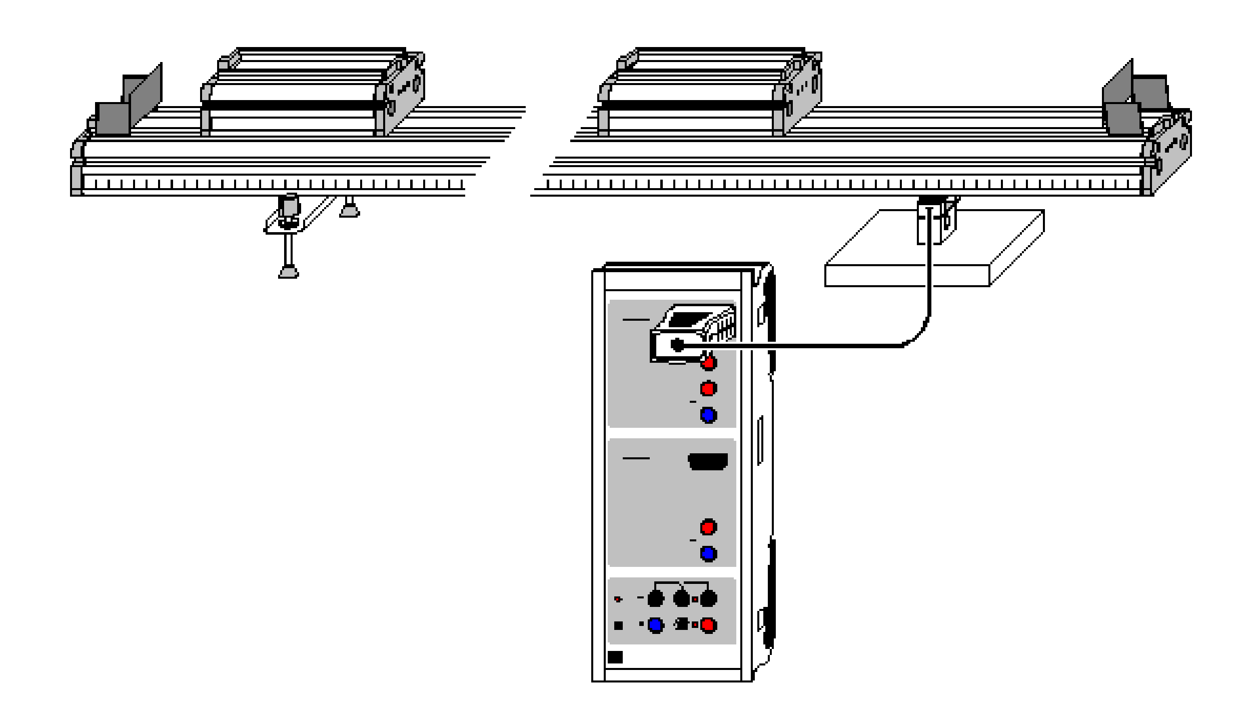
und für den unelastischen Stoß gilt

v1´ = v2´ = (m1*v1 + m2*v2) / (m1+m2).

**Tabelle zum Umrechnen zwischen angegebenen Einheiten und SI-Einheiten**

| Größe | SI-Einheit = | Faktor | · angegebene Einheit |
|---|---|---|---|
| Masse m | kg | 1 | kg |
| Geschwindigkeit v | m/s | 1 | m/s |
| Impuls p | N·s = kg·m/s | 1000 | mN·s |
| Energie E | J = kg·m²/s² | 1000 | mJ |

## Impulserhaltung durch Messung der Schwerpunktbewegung (Stoß)



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es wird die Schwerpunktbewegung während des elastischen oder inelastischen Stoßes zweier Wagen beobachtet und damit in beiden Fällen gezeigt, dass die Geschwindigkeit des Schwerpunkts während des gesamten Stoßprozesses konstant ist. Daraus folgt dann unmittelbar die Impulserhaltung während des gesamten Stoßprozesses.

### Messprinzip

Auf einer Fahrbahn lässt sich die Bewegung des Massenschwerpunkts s zweier stoßender Wagen der Massen $m_1$ und $m_2$ einfach durch die Auflagekraft F auf einen Kraftsensor bestimmen.

Betrachtet man nämlich die Summe der Drehmomente M um den linken Auflagepunkt, dann muss - da die Fahrbahn in Ruhe ist - diese Summe 0 sein, also

$m_1 \cdot g \cdot s_1 + m_2 \cdot g \cdot s_2 + F \cdot d = 0$,

wobei d der Abstand der beiden Auflagepunkte ist. Der Massenschwerpunkt s ist nun gegeben durch

$s = (m_1 \cdot s_1 + m_2 \cdot s_2) / (m_1+m_2)$.

Damit ergibt sich

$s \cdot g/(m_1+m_2) + F \cdot d = 0$

oder

$s = -F \cdot d/(m_1+m_2)/g$.

Es reicht also die Messung der Auflagekraft F aus, um eine Aussage über die Schwerpunktbewegung während eines Stoßes zu treffen. Ist s(t) eine Gerade, dann bedeutet dies, dass sich der Schwerpunkt mit einer konstanten Geschwindigkeit v bewegt, also

$v = (m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2) / (m_1+m_2) = p / (m_1+m_2) = \text{konstant}$,

und damit der Gesamtimpuls p erhalten ist.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Kraftsensor S, ±50 N | 524 042 |
| 1 | Fahrbahn | 337 130 |
| 2 | Fahrbahnwagen | 337 110 |
| 1 | Paar Zusatzmassen | 337 114 |
| 1 | Stoßfeder | 337 112 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Der Kraftsensor S wird anstelle des rechten Ständers so unter die Fahrbahn gelegt, dass die Fahrbahn weiterhin waagerecht liegt oder falls gewünscht, weiterhin ein guter Reibungsausgleich gewährleistet ist. Da der Kraftsensor etwas kürzer als der Ständer ist, muss dazu der Kraftsensor etwas unterfüttert werden.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Massen $m_1$ und $m_2$ sowie Abstand d der beiden Auflagepunkte in die Anzeigeinstrumente eintragen (mit rechter Maustaste anklicken und als Parameter eingeben). Die Gesamtmasse eines Wagens ergibt sich aus der Summe der Wagenmasse (0,5 kg) sowie gegebenenfalls der Feder (0,01 kg) und einer Zusatzmasse (0,5 kg).
- In den Einstellungen $F_{A1}$ die Kraft auf $\rightarrow 0 \leftarrow$ setzen; dabei wird auch der Schwerpunkt s auf 0 gesetzt
- Messung mit **F9** starten
- Elastischen oder inelastischen Stoß durchführen; Messung stoppt automatisch nach 5 s

### Auswertung

Die Darstellung **Standard** zeigt das F(t)-Diagramm und die Darstellung **Schwerpunkt** das dazugehörende s(t)-Diagramm (siehe Messprinzip).

Beide Diagramme zeigen einen linearen Verlauf, auch während der Zeit des eigentlichen Stoßes. Aus dem s(t)-Diagramm liefert eine Geradenanpassung die Geschwindigkeit v des Schwerpunkts und damit den konstanten Gesamtimpuls $p(t) = (m_1+m_2) \cdot v$.

Aus der Impulserhaltung folgt wiederum, dass

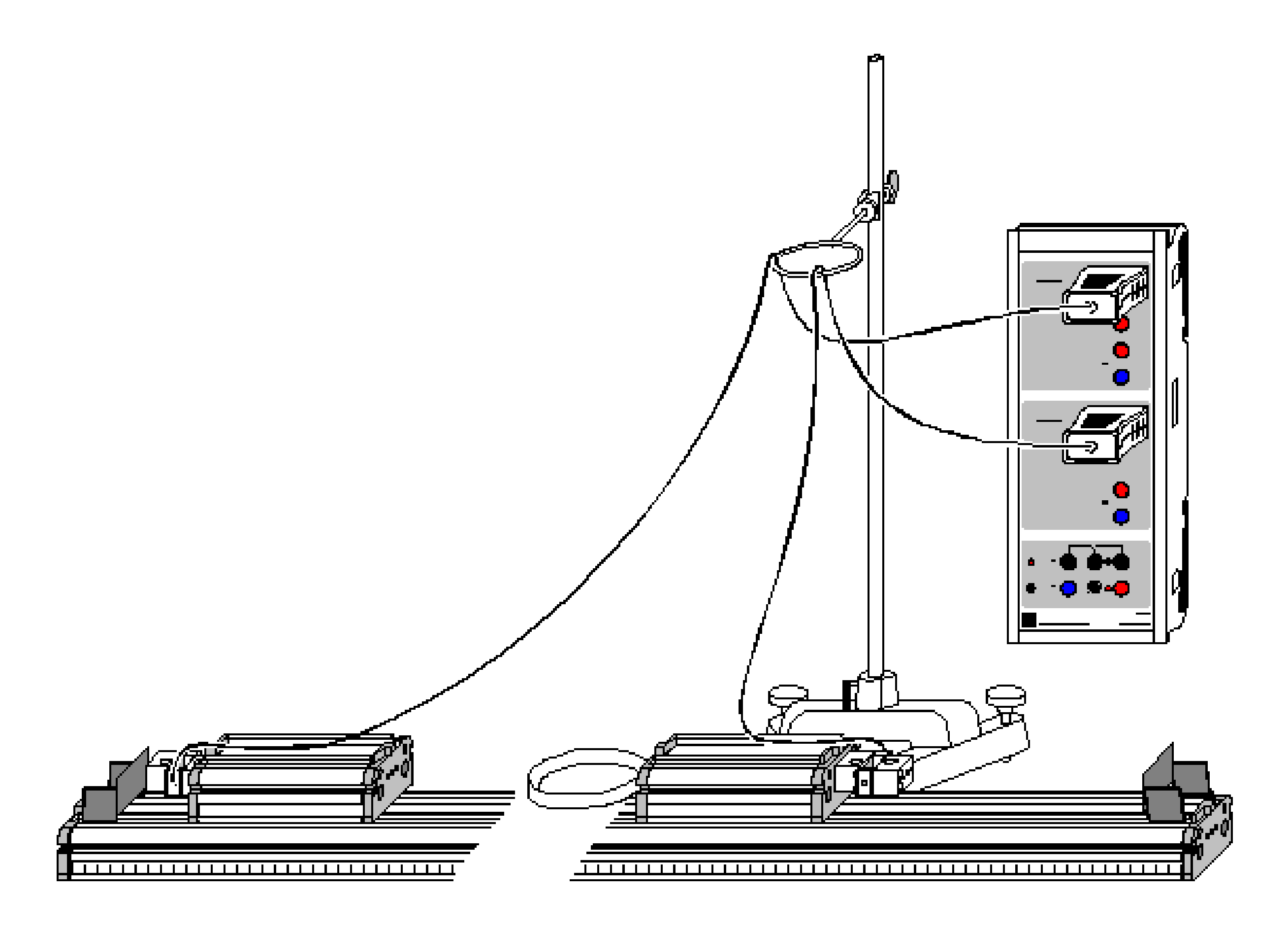
$0 = d/dt\,(p_1(t) + p_2(t)) = m_1 \cdot a_1(t) + m_2 \cdot a_2(t) = F_1(t) + F_2(t)$,

also

$F_1(t) = -F_2(t)$ ("Actio = Reactio").

Voraussetzung für diese Schlussfolgerung ist die Tatsache, dass der gesamte Verlauf von p(t) konstant ist, also auch während des Stoßvorganges. Alleine die Tatsache, dass der Gesamtimpuls vor dem Stoß der gleiche ist wie nach dem Stoß (z. B. durch Messung mit Lichtschranken) reicht dazu nicht aus.

## Actio=Reactio durch Messung der Beschleunigungen (Stoß)



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es werden während eines elastischen Stoßes die Beschleunigungen $a_1(t)$ und $a_2(t)$ beider Wagen gemessen. Multipliziert man die gemessenen Beschleunigungen mit den Massen $m_1$ und $m_2$, so erhält man die Kräfte $F_1(t)$ und $F_2(t)$. Es wird bestätigt, dass während des Stoßes $F_1(t) = -F_2(t)$.

### Messprinzip

Wird ein Kraftsensor der Masse m so auf einem Wagen angebracht, dass die Hälfte des Sensors, an dem die Zuleitung befestigt ist, fest am Wagen montiert ist, hängt die andere Hälfte der Masse m/2 beweglich in der Luft. Beschleunigt man nun den Wagen, so übt diese Masse die Trägheitskraft $F=m\cdot a/2$ aus. Diese Kraft wird vom Kraftsensor gemessen und automatisch in die Beschleunigung a umgerechnet.

Nach Angabe der beiden beschleunigten Massen (Wagen + Kraftsensor + Feder) berechnet die Software daraus die beiden Kräfte $F_1(t) = m_1\cdot a_1(t)$ und $F_2(t) = m_2\cdot a_2(t)$.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 2 | Kraftsensoren S, ±50 N | 524 042 |
| 4 | Kupplungsstecker | 340 89 |
| 1 | Fahrbahn | 337 130 |
| 2 | Fahrbahnwagen | 337 110 |
| 1 | Paar Zusatzmassen | 337 114 |
| 1 | Große Stoßfeder | 337 473 |
| 1 | Kleiner Stativfuß, V-förmig | 300 02 |



1 Stativstange, 1 m 300 44
1 Muffe mit Ring 301 10
1 PC ab Windows 95/98/NT

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Die beiden Kraftsensoren werden mit jeweils 2 Kupplungssteckern so an den Außenseiten der Wagen befestigen, dass die Zuleitungen starr am Wagen und nicht an der beweglichen Hälfte des Kraftsensors herausgeführt sind. Dabei die Zuleitungen so sichern, dass sie sich beim Stoß nicht im Kraftsensor bewegen (z. B. mit Tesafilm am Wagen sichern). Außerdem die Zuleitungen so führen, dass sie beim Stoß die Wagen nicht behindern.

Der Stoß wird mit der großen Stoßfeder abgefangen, die an einem der beiden Wagen auf der Innenseite befestigt ist. Es wurde bewusst die große Stoßfeder vorgeschlagen, da damit der Stoßvorgang etwas länger dauert und deshalb während des Stoßes mehr Messwerte aufgenommen werden können. Die Feder ist aber relativ weich und sollte beim Stoßvorgang nicht überlastet werden.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Massen $m_1$ und $m_2$ in die Anzeigeinstrumente eintragen (mit rechter Maustaste anklicken und als Parameter eingeben). Die Gesamtmasse eines Wagens ergibt sich aus der Summe der Wagenmasse (0,5 kg), der Masse des Kraftsensors (0,1 kg) sowie gegebenenfalls der Feder (0,01 kg) und einer Zusatzmasse (0,5 kg).
- In Einstellungen $a_{A1}$ und $a_{B1}$ die Beschleunigungen auf → 0 ← setzen
- Messung mit **F9** starten
- Elastischen Stoß durchführen; Messung stoppt automatisch nach 5 s

**Auswertung**

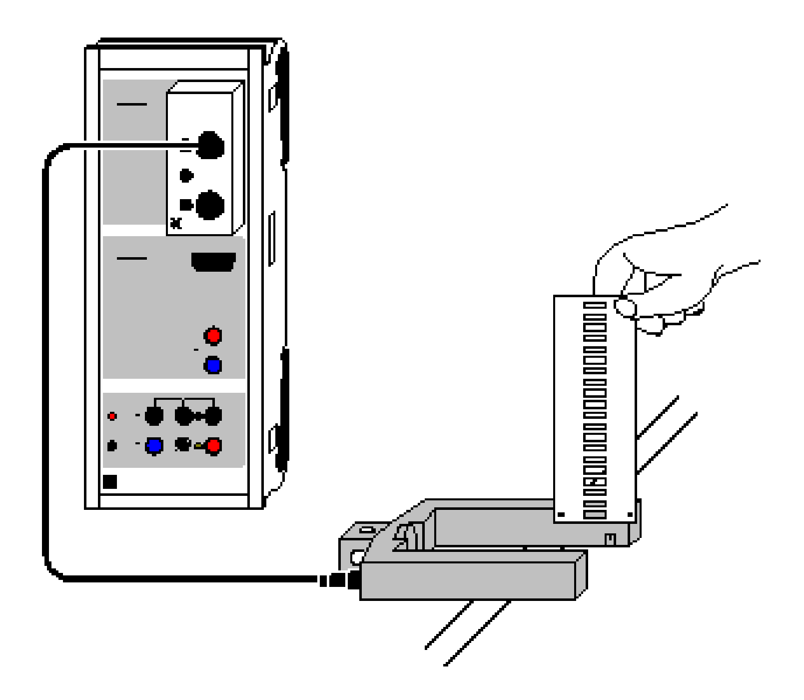
Die Darstellung **Standard** zeigt die beiden a(t)-Diagramme und die Darstellung **Kraft** die dazugehörenden F(t)-Diagramme (siehe Messprinzip).

In den F(t)-Diagrammen sieht man leicht, dass

$F_1(t) = -F_2(t)$ ("Actio = Reactio").

Damit kann nun auch der Impulserhaltungssatz gefolgert werden, da die Integrale über beide Kurven (Impulsüberträge) zwischen zwei beliebigen Zeiten $t_1$ und $t_2$ immer vom Betrag gleich groß sind und ein entgegengesetztes Vorzeichen haben.

## Freier Fall mit g-Leiter



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Während eine Leiter durch eine Lichtschranke fällt, werden die Zeitpunkte der Verdunkelungen der Lichtschranke durch die Sprossen der Leiter registriert. Der bekannte Sprossenabstand zusammen mit der Zeitinformation liefert das s(t)-Diagramm des Falls. Daraus wird dann ein v(t)- und ein a(t)-Diagramm errechnet. Aus jedem der drei Diagramme kann die Erdbeschleunigung g ermittelt werden.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Timer-Box | 524 034 |
| 1 | g-Leiter | 529 034 |
| 1 | Gabellichtschranke | 337 46 |
| 1 | Verbindungskabel, 6-polig | 501 16 |
| 1 | Satz Laststücke, 50 g, optional | 342 61 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Die g-Leiter wird so über die Lichtschranke gehalten, dass sie beim Fall mit ihren Sprossen die Lichtschranke unterbricht. Die Lichtschranke wird über den Eingang E der Timer-Box am Sensor-CASSY angeschlossen. Durch Anhängen von Laststücken an die Leiter kann die Massenabhängigkeit der Erdbeschleunigung bestätigt werden.

### Versuchsdurchführung

Einstellungen laden

- Messung mit **F9** starten
- Leiter so durch die Lichtschranke fallen lassen, dass alle 21 Sprossen die Lichtschranke passieren
- Messung stoppt automatisch 0,2 s nach Erkennen der ersten Sprosse oder nach 21 Sprossen. Eine Fehlmessung kann durch **Letzte Messreihe löschen** (rechte Maustaste auf Tabelle) wieder aus der Tabelle entfernt werden.
- Messung kann für andere Massen oder Fallhöhen wiederholt werden. Dazu wieder mit **F9** starten.

**Auswertung**

Es ist jeweils eine Darstellung für Weg s(t), Geschwindigkeit v(t) und Beschleunigung a(t) vorbereitet, die angeklickt werden kann. Im s(t)-Diagramm kann durch eine Parabelanpassung und im v(t)-Diagramm kann durch eine Geradenanpassung und im a(t)-Diagramm durch eine Mittelwertbildung die Erdbeschleunigung g ermittelt werden. Die Zahlenwerte der Auswertung in der Statuszeile lassen sich durch **F6** groß darstellen.

Da beim Unterbrechen der Lichtschranke durch die ersten Sprosse die Leiter eine Anfangsgeschwindigkeit hatte, ist der Scheitelpunkt der s(t)-Parabel nicht zu sehen und geht die v(t)-Gerade nicht durch den Ursprung. Zur besseren Veranschaulichung können aber z. B. die t- und s-Achse mit der Maus so verschoben werden, dass nach einer Parabelanpassung auch deren Scheitelpunkt sichtbar wird.

**Anmerkung**

Die einzelnen Geschwindigkeitswerte v(i) werden als

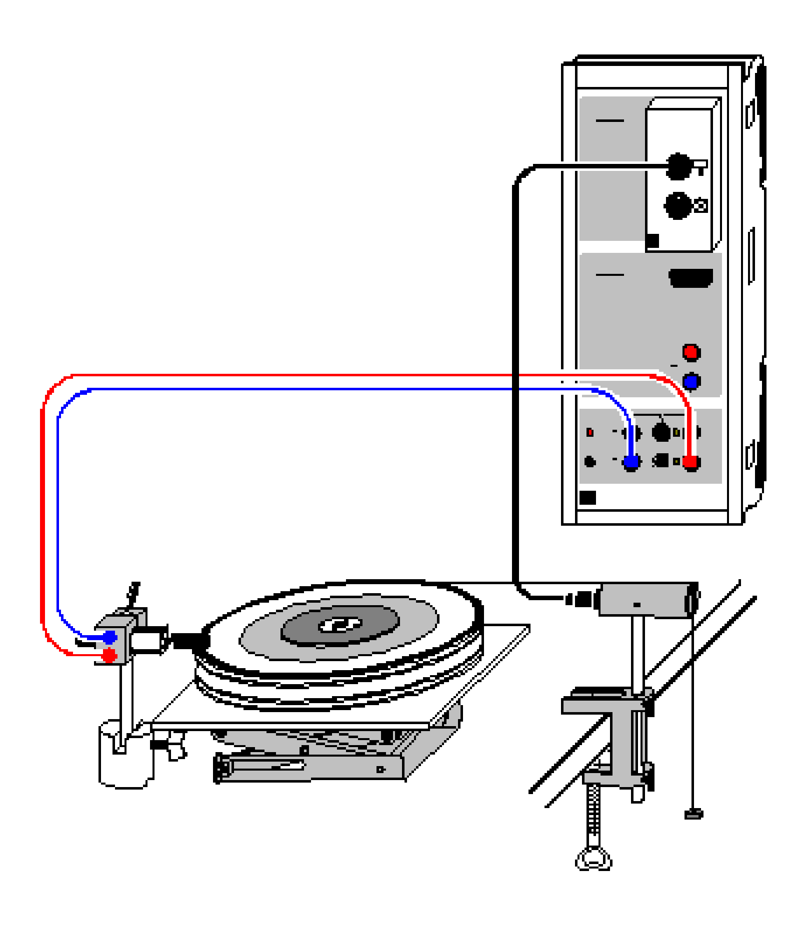
$v(i) = ( s(i+1) – s(i-1) ) / ( t(i+1) – t(i-1) )$

errechnet. Dies ist die Durchschnittsgeschwindigkeit im Zeitintervall [t(i-1),t(i+1)] und in erster Näherung die Momentangeschwindigkeit zum Zeitpunkt ½ (t(i-1) + t(i+1)), also nicht zum Zeitpunkt t(i). Gleiches gilt für die Beschleunigungswerte

$a(i) = ( v(i+1) – v(i-1) ) / ( ½ (t(i+2) – t(i-2)) )$.

Dies wurde aber bei der v(t)- und a(t)-Darstellung bereits durch eine geeignet umgerechnete Zeitachse berücksichtigt.

## Drehbewegungen (Newtonsche Bewegungsgleichung)



- Beispiel laden (J = konstant)
- Beispiel laden (M = konstant)

### Versuchsbeschreibung

Ein rotierender Körper mit konstantem Trägheitsmoment J wird mit unterschiedlichen Drehmomenten M beschleunigt. Die ermittelten Winkelbeschleunigungen $\alpha$ in Abhängigkeit von den beschleunigenden Drehmomenten M aufgetragen ergibt M proportional $\alpha$ (mit J als Proportionalitätsfaktor) und bestätigt damit die Newtonsche Bewegungsgleichung $M=J\cdot\alpha$.

Alternativ kann auch das beschleunigende Drehmoment M konstant gehalten und die Trägheitsmoment J variiert werden. Dies ergibt J proportional $1/\alpha$ (mit M als Proportionalitätsfaktor).

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | BMW-Box | 524 032 |
| 1 | Drehsystem | 347 23 |
| 1 | Bewegungsaufnehmer | 337 631 |
| 1 | Verbindungskabel, 6-polig | 501 16 |
| 1 | Haltemagnet | 336 21 |
| 1 | Stativstange, 25 cm | 300 41 |
| 1 | Sockel | 300 11 |
| 1 | Tischklemme, einfach | 301 07 |
| 1 | Laborboy II | 300 76 |
| 1 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | Büroklammer | |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Der Übertragungsfaden wird an der Fahne des Drehsystems (r = 10 cm) oder an einem der Stifte der Zusatzscheibe (r = 5 cm, 2,5 cm) befestigt und läuft über den Bewegungsaufnehmer ab, der über die obere Buchse der BMW-Box am Sensor-CASSY angeschlossen ist. Der Haltemagnet verhindert den Start der Rotation, indem er in die Nähe der Büroklammer gestellt wird, die auf die Fahne des Drehsystems geklemmt ist.

Als beschleunigende Kraft dienen z. B. 3 kleine angehängte Massestücke à 1 g (F = 0,0294 N). Die unterschiedlichen Drehmomente bei konstantem Trägheitsmoment werden durch die unterschiedlichen Abrollradien erzielt (M = r·F = 2,94 mNm, 1,47 mNm, 0,73 mNm). Alternativ werden die unterschiedlichen Trägheitsmomente bei konstantem Drehmoment durch Zusatzscheiben realisiert.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden (J = konstant) oder
- Einstellungen laden (M = konstant)
- Maximal abrollbaren Winkel $\beta_{A1}$ in Messbedingung des Messparameterfensters (erscheint mit **F5**) anpassen (aktuell **&bA1 < 6** für 6 Radien, &b steht für β)
- Eventuell Zeitintervall (aktuell 500 ms) im Messparameterfenster (erscheint mit **F5**) anpassen (längeres Intervall hat weniger Messwerte und weniger Streuungen in α(t) zur Folge)
- Gegebenenfalls Vorzeichen der Winkelmessung invertieren (**s** ↔ **-s** in Einstellungen $\beta_{A1}$)
- Rotierende Scheibe vom Haltemagneten festhalten lassen
- Aktuellen Abrollradius und Wegnullpunkt definieren (beides in Einstellungen $\beta_{A1}$)
- Messung mit **F9** starten und am Ende wieder mit **F9** stoppen. Eine Fehlmessung kann durch **Letzte Messreihe löschen** (rechte Maustaste auf Tabelle) wieder aus der Tabelle entfernt werden.
- Messung mit veränderten Parametern (anderes beschleunigendes Drehmoment oder anderes beschleunigtes Trägheitsmoment) wiederholen. Dazu Abrollradius und Wegnullpunkt wieder neu definieren.

**Auswertung**

Zusätzlich zu den β(t)-Diagrammen werden die ω(t)- und α(t)-Diagramme berechnet. Sie stehen auf den weiteren Darstellungsseiten zur Verfügung und brauchen nur angeklickt zu werden. Als Auswertungen bieten sich Parabel- und Geradenanpassung sowie Mittelwertberechnung an.

Zur Bestätigung der Newtonschen Bewegungsgleichung muss eine weitere Tabelle gefüllt werden, die auf der Newton-Seite der Darstellung schon vorbereitet ist. Nach der Bestimmung eines Winkelbeschleunigungswertes als Mittelwert eines α(t)- oder als Steigung eines ω(t)-Diagramms kann dieser mit der Maus aus der Statuszeile in die Tabelle gezogen werden (Drag & Drop). Der Parameter Drehmoment M bzw. Trägheitsmoment J wird direkt über die Tastatur in die Tabelle eingetragen. Bereits während der Tabelleneingabe entsteht das gewünschte Diagramm. Die Achsen können nach Anklicken mit der rechten Maustaste leicht umgerechnet oder umskaliert werden (z. B. $\alpha \rightarrow 1/\alpha$).

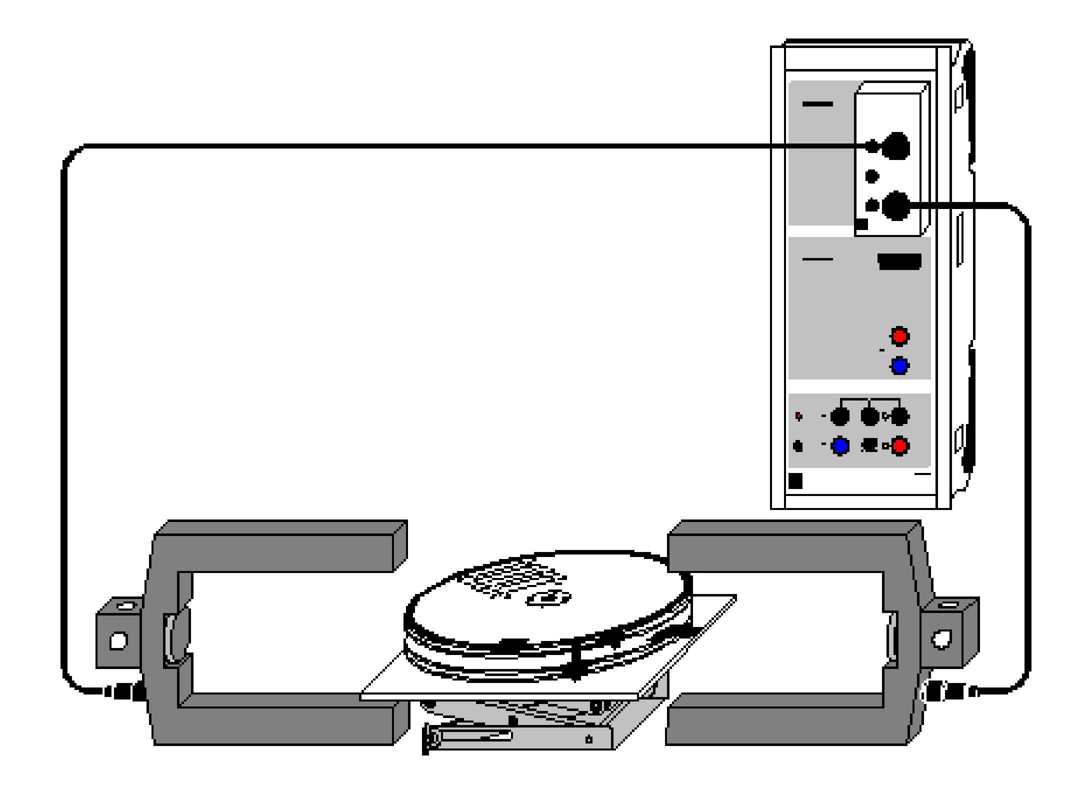
Als weitere Auswertung ist es möglich, durch zusätzliche Formeln z. B. die Rotationsenergie mit der geleisteten Arbeit zu vergleichen. Die Rotationsenergie ist

E = **0.5*J*&w^2** (J als Zahlenwert eintippen, &w steht für ω)

und die geleistete Arbeit berechnet sich zu

W = **M*&bA1** (M als Zahlenwert eintippen, &b steht für β).

## Drehimpuls- und Energieerhaltung (Drehstoß)



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Mit dem Drehsystem lassen sich die Winkelgeschwindigkeiten $\omega$ zweier Körper vor und nach ihrem Stoß aus den Verdunkelungszeiten zweier Lichtschranken ermitteln. Auf diese Weise lassen sich der Drehimpulserhaltungssatz für den elastischen und unelastischen Drehstoß sowie der Energieerhaltungssatz für den elastischen Drehstoß bestätigen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Timer-Box | 524 034 |
| 1 | Drehsystem | 347 23 |
| 2 | Gabellichtschranken | 337 46 |
| 2 | Verbindungskabel, 6-polig | 501 16 |
| 1 | Laborboy II | 300 76 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Zunächst werden das Drehsystem und die beiden Lichtschranken (an den Eingängen E und F der Timer-Box) so positioniert, dass sich die Fahnen der beiden rotierenden Körper beim Drehstoß **zwischen** den beiden Lichtschranken befinden werden. Die Fahnen der beiden Körper müssen beim Durchfahren der Lichtschranken diese unterbrechen.

### Versuchsdurchführung

Einstellungen laden

- Trägheitsmomente $J_1$ und $J_2$ in die Tabelle eintragen (Feld unter $J_1$ und $J_2$ anklicken)
- Anordnung der Fahnen vor dem Stoß in Relation zu den Lichtschranken E und F angeben (Einstellungen $\omega_1$, $\omega_2$, $\omega_1'$ oder $\omega_2'$). Es gibt vier verschiedene Anordnungen:

beide Fahnen außerhalb der Lichtschranken
linke Fahne dazwischen und rechte Fahne außerhalb
linke Fahne außerhalb und rechte Fahne dazwischen
beide Fahnen dazwischen (Explosion)

- Fahnenbreite und Radius angeben (auch Einstellungen ω1, ω2, ω1´ oder ω2´)
- Stoß durchführen (falls bereits vor dem Stoß Winkelgeschwindigkeiten angezeigt werden, können diese durch → 0 ← gelöscht werden) und darauf achten, dass keine überzähligen Impulse von den Lichtschranken registriert werden (z. B. durch Reflexion eines rotierenden Körpers)
- Messung durch **Stoß-Ende** beenden (nach vier gemessenen Winkelgeschwindigkeiten beendet sich die Messung von selbst)
- Messwerte mit **F9** in die Tabelle für die Auswertung übernehmen oder mit → 0 ← nächste Messung initialisieren

### Auswertung

Für die Drehimpulse vor und nach dem Stoß, die Gesamtdrehimpulse, Energien, Gesamtenergien sowie den Energieverlust sind eigene Tabellenseiten vorbereitet, in welche die Messwerte mit **F9** übernommen werden. Zur Anzeige sind die Tabellenseiten anzuklicken. Sollen diese Größen bereits unmittelbar nach dem Stoß sichtbar sein, können die entsprechenden Anzeigeinstrumente geöffnet werden.

Außerdem können zusätzliche Formeln für einen Vergleich mit der Theorie definiert werden. Für den elastischen Drehstoß gilt

&w1´ = (2*J2*&w2 + (J1-J2)*&w1) / (J1+J2)
&w2´ = (2*J1*&w1 + (J2-J1)*&w2) / (J1+J2)

und für den unelastischen Drehstoß gilt

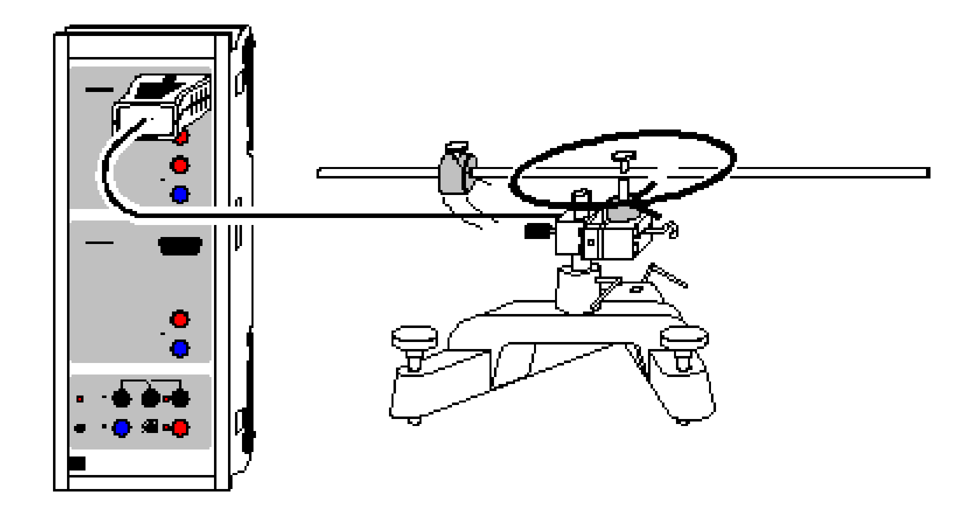
&w1´ = &w2´ = (J1*&w1 + J2*&w2) / (J1+J2).

In allen Formeln ist statt dem griechischen ω das lateinische w mit vorangestelltem & einzugeben.

### Tabelle zum Umrechnen zwischen angegebenen Einheiten und SI-Einheiten

| Größe | SI-Einheit = | Faktor | · angegebene Einheit |
|---|---|---|---|
| Trägheitsmoment J | kg·m² | 1000 | g·m² |
| Winkelgeschwindigkeit ω | rad/s | 1 | rad/s |
| Drehimpuls L | N·s·m = kg·m²/s | 1000 | mJ·s |
| Energie E | J = kg·m²/s² | 1000 | mJ |

## Zentrifugalkraft



- Beispiel laden (einzelne Messung)
- Beispiel laden (r = 190 mm, m und ω variabel)
- Beispiel laden (m = 200 g, r und ω variabel)

### Versuchsbeschreibung

Die auf eine rotierende Masse m wirkende Zentrifugalkraft F wird beschrieben durch $F = m \cdot \omega^2 \cdot r$ (ω: Winkelgeschwindigkeit, r: Abstand des Masseschwerpunkts von der Drehachse). Dieses Gesetz wird durch Variation der drei Parameter m, ω und r bestätigt.

Die Zentrifugalkraft F kann durch den Kraftsensor S, ±50 N gemessen werden. Da er Kräfte nahezu nur in einer Richtung misst, ergibt sich ein sinusförmiger Kraftverlauf, dessen Minima und Maxima der radial gerichteten Zentrifugalkraft entsprechen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Kraftsensor S, ±50 N | 524 042 |
| 1 | Fliehkraft-Dreharm | 347 211 |
| 1 | Große Stativfuß, V-förmig | 300 01 |
| 1 | Stativstange, 10 cm | 300 40 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Der Kraftsensor wird horizontal liegend mit der Stativstange möglichst kurz in dem Stativfuß befestigt. Alle Schrauben fest anziehen! Anschließend wird der Stativfuß mit seinen Stellschrauben horizontal ausgerichtet, sodass der Fliehkraft-Dreharm möglichst wenig pendelt und auch bei geringer Drehfrequenz mit konstanter Geschwindigkeit dreht.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Massestücke im definierten Abstand (r wird zwischen der Drehachse und der Mitte des Massestückes bestimmt) auf dem Dreharm festschrauben.
- In Einstellungen Kraft $F_{A1}$ den Kraftsensor auf → 0 ← setzen.
- Dreharm nahe der Drehachse mit dem Finger in Rotation versetzen und bei Erreichen der Kraft von etwa 5 N Messaufzeichnung mit **F9** starten und alle 5 bis 10 s wiederholen bis die gemessene Kraft etwa 1 N beträgt. Man erhält eine Schar von Sinuskurven, deren Amplituden kleiner und deren Perioden länger werden. Durch die Triggereinstellung des Beispiels beginnen alle Kurven im Koordinatenursprung.



**Auswertung**

Für jede Sinuskurve werden die Periodendauer T und die minimale und maximale Kraft $F_{min}$ und $F_{max}$ der ersten Periode durch Anklicken mit der Maus und Ablesen des Tabellenwertes bestimmt und in die Darstellung **Eingabe** (mit der Maus anklicken) übertragen. Die Berücksichtigung von $F_{min}$ und $F_{max}$ gleicht eventuelle Ungenauigkeiten bei der Aufstellung oder der Nullpunkteinstellung des Kraftsensors aus.

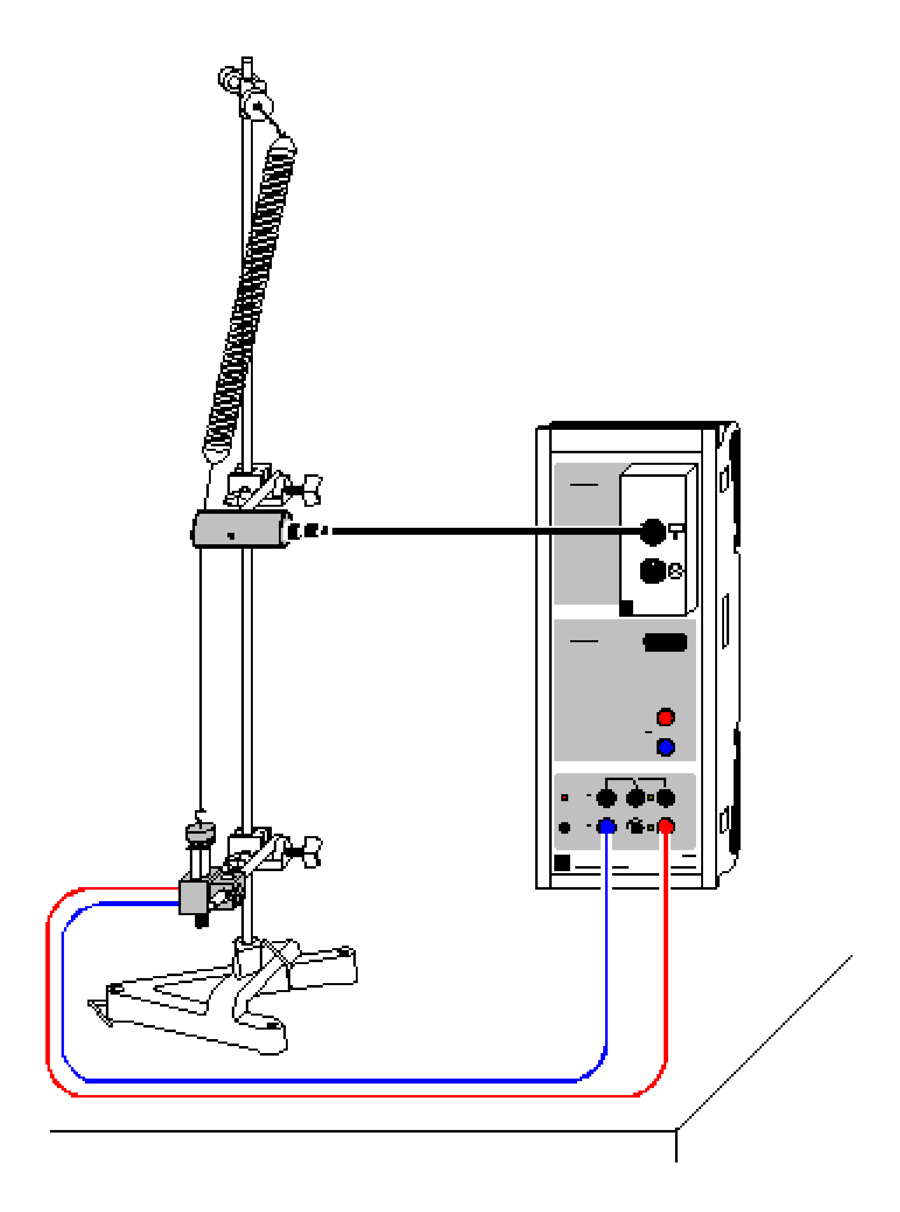
In der Darstellung **Zentrifugalkraft** wird das Ergebnis dieser Auswertung automatisch aufgetragen. Die dort dargestellte Zentrifugalkraft $F = (F_{max}-F_{min})/2$ und die Winkelgeschwindigkeit $\omega=2\pi/T$ ist aus den angegebenen Werten berechnet. Sehr schön ist die Proportionalität $F \sim \omega^2$ zu sehen.

Für die Bestätigung der Proportionalitäten $F \sim m$ und $F \sim r$ müssen die Messungen mit anderen Massen und Radien wiederholt und dann gemeinsam ausgewertet werden. Dabei ist es sinnvoll, jede Messung einzeln auszuwerten und in einer separaten Datei abzuspeichern, da mehrere Messungen in einer grafischen Darstellung zur Auswertung unübersichtlich werden. Mehrere ausgewertete Messungen können anschließend zusammen in eine gemeinsame Darstellung geladen werden.

**Tipp**

Da für eine vollständige Auswertung das Experiment mit anderen Massen m und Radien r wiederholt werden muss, ist die manuelle Auswertung aller Messungen sehr mühsam. Die Periodendauer T und die beiden Kräfte $F_{min}$ und $F_{max}$ können aber auch automatisch bestimmt werden. Dazu müssen nur die Anzeigeinstrumente T', $F'_{min}$, und $F'_{max}$ der oberen Zeile geöffnet werden. Direkt nach einer einzelnen Messung können dann die dort berechneten Werte direkt mit der Maus in die Darstellung **Eingabe** verschoben werden (Drag & Drop). Solange sich der Dreharm noch dreht und die gemessenen Kraft noch größer als etwa 1 N ist, wird dies dann für die abnehmenden Winkelgeschwindigkeiten $\omega$ zügig wiederholt.

## Harmonische Schwingungen eines Federpendels



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es werden die harmonischen Schwingungen eines Federpendels als Funktion der Zeit t aufgenommen. Zur Auswertung werden Weg s, Geschwindigkeit v und Beschleunigung a miteinander verglichen. Sie können wahlweise als Funktion der Zeit t oder in Form eines Phasendiagramms dargestellt werden.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | BMW-Box | 524 032 |
| 1 | Bewegungsaufnehmer | 337 631 |
| 1 | Verbindungskabel, 6-polig | 501 16 |
| 1 | Schraubenfeder, 3 N/m | 352 10 |
| 1 | Satz Laststücke, 50 g | 342 61 |
| 1 | Haltemagnet | 336 21 |
| 1 | Großer Stativfuß, V-förmig | 300 01 |
| 1 | Stativstange, 25 cm | 300 41 |

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Stativstange, 150 cm | 300 46 |
| 2 | Leybold-Muffen | 301 01 |
| 1 | Muffe mit Haken | 301 08 |
| 1 | Angelschnur, 10 m | 309 48 |
| 1 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Der Faden des Federpendels wird so um die Umlenkrolle des Bewegungsaufnehmers geführt, dass die Schwingung des Pendels schlupffrei auf den Bewegungsaufnehmer übertragen werden, der an die obere Buchse der BMW-Box angeschlossen ist. Der Haltemagnet sorgt für einen definierten Start der Schwingung, indem er das Massestück des Pendels vor dem Start der Messwertaufnahme im unteren Umkehrpunkt der Schwingung festhält.

Weiterführend können die Luftreibung (z. B. durch ein Stück Pappe am Massestück) oder die Masse des Pendels verändert werden.

### Versuchsdurchführung

- ❑ Einstellungen laden
- Eventuell Zeitintervall im Messparameterfenster (erscheint mit **F5**) anpassen (kürzeres Zeitintervall ermöglicht mehr Messwerte und ein glätteres s(t)- und v(s)-Diagramm, längeres Intervall hat weniger Messwerte und weniger Streuungen in a(t) zur Folge)
- Gegebenenfalls Vorzeichen der Wegmessung invertieren (**s** ↔ **-s** in Einstellungen SA1)
- Wegnullpunkt in Gleichgewichtslage des Pendels definieren (→ 0 ← in Einstellungen SA1)
- Pendel etwa 10 cm auslenken und vom Haltemagneten festhalten lassen
- Messung mit **F9** starten und am Ende wieder mit **F9** stoppen
- Beim Wiederholen der Messung vorher wieder Wegnullpunkt in Gleichgewichtslage überprüfen.

### Auswertung

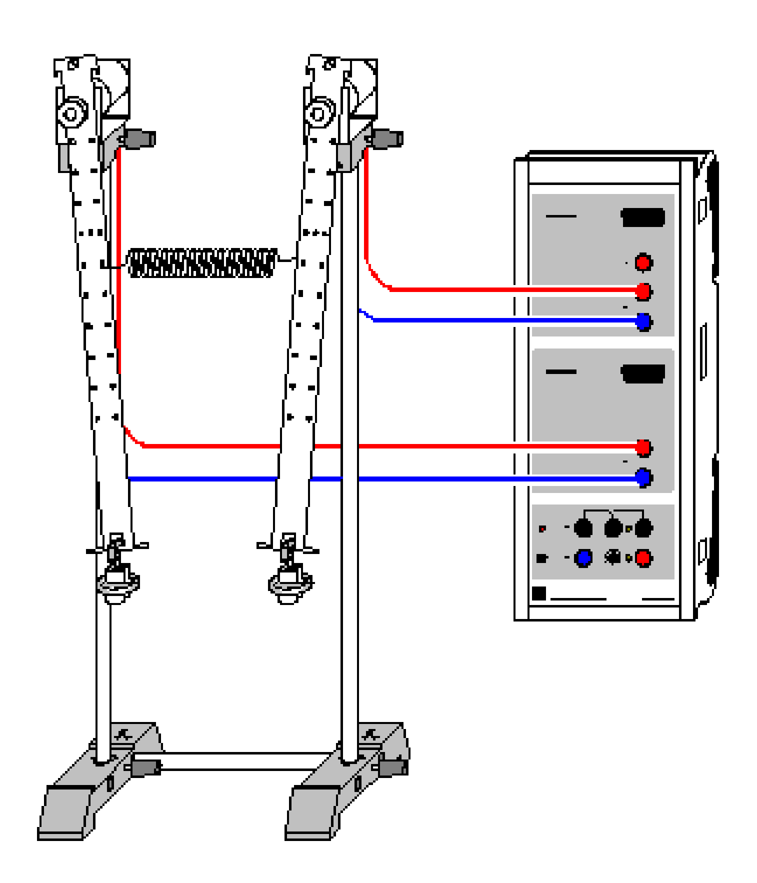
Neben der Wegdarstellung sind bereits eine Übersichtsdarstellung mit s(t), v(t) und a(t) und ein Phasendiagramm v(s) vorbereitet. Die verschiedenen Darstellungen können durch Anklicken ausgewählt werden.

Sehr schön lassen sich die Phasenbeziehungen und die Dämpfung erkennen.

### Anmerkung

Die gezeichneten Kurvenformen hängen stark vom gewählten Zeitintervall ab. Das Zeitintervall kann nur ein Kompromiss sein zwischen dichter Messwertfolge, gut ausgeprägten s(t)-Minima und Maxima (kleineres Zeitintervall) sowie kleinen Fehlern im v(t)- und a(t)-Diagramm (größeres Zeitintervall).

## Gekoppelte Pendel



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Zwei gekoppelte Pendel schwingen gleichphasig mit der Frequenz $f_1$, wenn sie um die gleiche Strecke aus der Ruhelage ausgelenkt wurden. Wird das zweite Pendel in entgegengesetzter Richtung ausgelenkt, schwingen die Pendel gegenphasig mit der Frequenz $f_2$. Lenkt man nur ein Pendel aus, wird eine gekoppelte Schwingung mit der Frequenz

$f_n = ½ (f_1 + f_2)$

erzeugt, bei der die Schwingungsenergie zwischen den beiden Pendeln hin und her übertragen wird. Das erste Pendel kommt nach einer gewissen Zeit zur Ruhe, während das zweite gleichzeitig seine größte Amplitude erreicht. Die Zeit von einem Stillstand eines Pendels zum nächsten bezeichnet man $T_S$. Für die zugehörige Schwebungsfrequenz gilt

$f_S = | f_1 – f_2 |$.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Paar Stabpendel | 346 03 |
| 1 | Satz Laststücke | 340 85 |
| 2 | Haltebügel, steckbar | 314 04 |
| 1 | Schraubenfeder, 3 N/m | 352 10 |
| 2 | STE-Tachogeneratoren | 579 43 |
| 2 | Muffenblocks | 301 25 |
| 1 | Stativstange, 25 cm, d = 10 mm | 301 26 |
| 2 | Stativstangen, 50 cm, d = 10 mm | 301 27 |
| 2 | Stativfüße MF | 301 21 |
| 2 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Die Bewegung der Pendel wird auf die Tachogeneratoren übertragen. Die Spannung der Tachogeneratoren wird an den Eingängen A und B des Sensor-CASSYs gemessen. Zur Variation der Kopplung kann die Kopplungsfeder in unterschiedlichen Höhen angebracht werden.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Messung mit **F9** starten und beide Pendel gleichphasig auslenken (Messung stoppt nach 30 s)
- Messung mit **F9** starten und beide Pendel gegenphasig auslenken (Messung stoppt nach 30 s)
- Messung mit **F9** starten und nur das erste Pendel anstoßen (Messung stoppt nach 30 s)

**Auswertung**

In der Darstellung **Eigenschwingungen** (mit der Maus anklicken) werden die beiden Eigenschwingungen

$U_1 = U_A + U_B$
$U_2 = U_A - U_B$

dargestellt. Bei der gleichphasigen Anregung schwingt nur $U_1$ mit der Frequenz $f_1$, bei der gegenphasigen nur $U_2$ mit der Frequenz $f_2$. Erst nach dem alleinigen Anstoßen des ersten Pendels schwingt das System mit beiden Eigenfrequenzen und erzeugt damit die typische Schwebung in der **Standard**-Darstellung.

Als Hilfsmittel zur Bestimmung der Schwebungsfrequenz $f_s$ und der neuen Schwingungsfrequenz $f_n$ eignen sich z. B. senkrechte Markierungslinien oder die direkte Differenzmessung (zur Erhöhung der Genauigkeit sollte bei der Bestimmung der Schwingungsfrequenz $f_n$ über mehrere Perioden gemittelt werden).

Im Beispiel ergibt sich $f_1$ = 0,875 Hz, $f_2$ = 0,986 Hz, $f_n$ = 0,93 Hz, $f_s$ = 0,11 Hz und bestätigt damit gut die Theorie $f_n = ½ (f_1 + f_2)$ = 0,93 Hz und $f_s = | f_1 - f_2 |$ = 0,11 Hz.

Im **Frequenzspektrum** lassen sich die Frequenzen und Amplituden von $U_1$, $U_2$ und $U_A$ miteinander vergleichen. Die Frequenzen lassen sich dort am einfachsten als Peakschwerpunkte bestimmen.

**Theorie**

Die Bewegungsgleichungen der Pendelkörper lauten unter Verwendung geeigneter Näherungen (kleine Auslenkungen, vernachlässigbare Masse der Kopplungsfeder und des Pendelstabes, keine Dämpfung):

$F_1 = ma_1 = -Dx_1 + C(x_2 - x_1)$
$F_2 = ma_2 = -Dx_2 - C(x_2 - x_1)$

$-Dx_i$ (mit D = mg/l) beschreibt die Rückstellkraft eines einzelnen Pendels und $C(x_2 - x_1)$ beschreibt die Kraft durch die Kopplung zwischen beiden Pendeln. Als Lösung ergibt sich die Superposition

$x(t) = A \cos(\omega_1 \cdot t) + B \cos(\omega_2 \cdot t)$

mit den Fundamentalfrequenzen $\omega_1$ und $\omega_2$. Die speziellen Anfangsbedingungen liefern die Werte für A und B:

Gleichphasige Anregung liefert $A = x_0$, B = 0 (harmonische Schwingung mit $\omega_1$)
Gegenphasige Anregung liefert A = 0, $B = x_0$ (harmonische Schwingung mit $\omega_2$)
Auslenkung nur eines Pendels liefert $A = B = ½ x_0$.

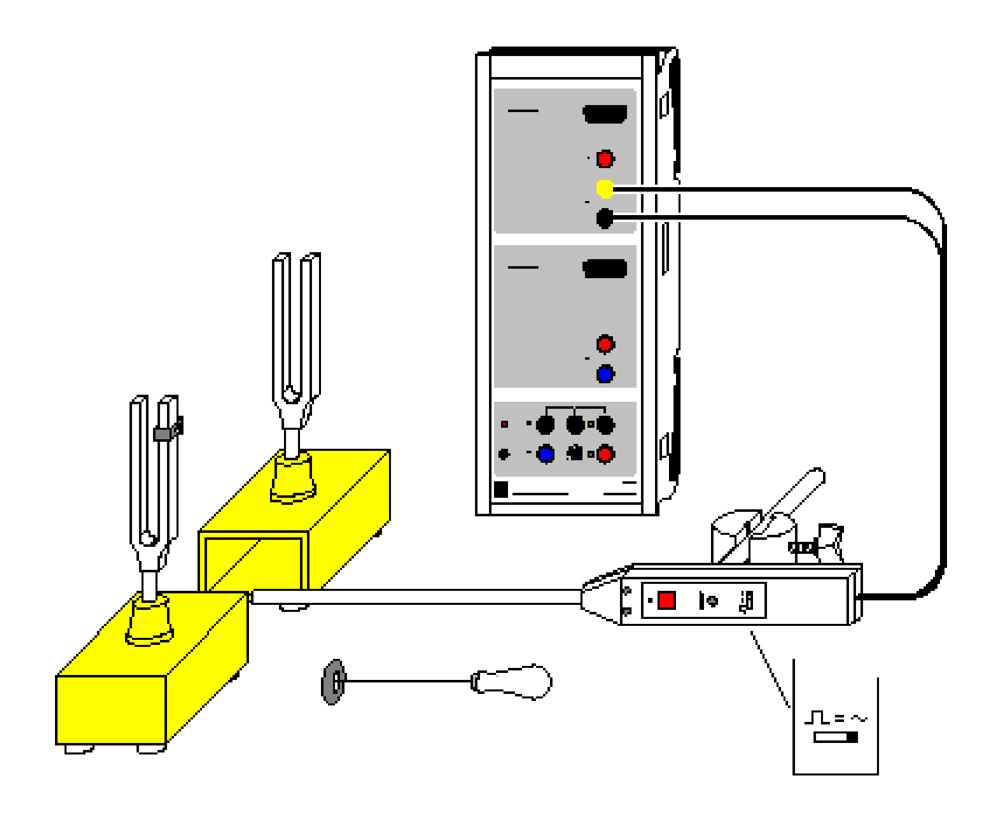
Im letzten Fall gilt

$x(t) = ½ x_0 ( \cos(\omega_1 \cdot t) + \cos(\omega_2 \cdot t) ) = x_0 \cos(½ \omega_s \cdot t) \cos(\omega_n \cdot t)$

mit $\omega_s = | \omega_1 - \omega_2 |$ und $\omega_n = ½ (\omega_1 + \omega_2)$ oder $f_s = | f_1 - f_2 |$ und $f_n = ½ (f_1 + f_2)$.

Wenn die Abweichung der beiden Frequenzen $f_1$ und $f_2$ klein ist, beschreibt diese Gleichung eine Schwingung der Frequenz $f_n$, die mit der langsamen Frequenz $f_s$ moduliert wird – also eine Schwebung.

## Akustische Schwebungen



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es wird die Schwebung aufgezeichnet, die durch zwei geringfügig gegeneinander verstimmte Stimmgabeln erzeugt wird. Die Einzelfrequenzen $f_1$ und $f_2$, die neue Schwingungsfrequenz $f_n$ und die Schwebungsfrequenz $f_s$ werden ermittelt und können mit den theoretischen Werten

$f_n = ½ (f_1 + f_2)$ und $f_s = | f_1 – f_2 |$

verglichen werden.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Paar Resonanzstimmgabeln | 414 72 |
| 1 | Universalmikrofon | 586 26 |
| 1 | Sockel | 300 11 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Das Universalmikrofon (Funktionsschalter auf Betriebsart „Signal“ und Einschalten nicht vergessen) wird zwischen beiden Stimmgabeln positioniert und an Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen. Eine der Stimmgabeln wird durch eine Zusatzmasse geringfügig verstimmt.

### Versuchsdurchführung

Einstellungen laden

- Erste Stimmgabel anstoßen und Messung mit **F9** auslösen
- Signalstärke mit Einsteller am Mikrofon optimieren
- Frequenz $f_1$ ermitteln (z. B. durch senkrechte Markierungslinien in der **Standard**-Darstellung oder als Peakschwerpunkt im **Frequenzspektrum**)

- Messung mit **F4** löschen
- Zweite Stimmgabel anstoßen und Messung mit **F9** auslösen
- Frequenz $f_2$ ermitteln
- Messung mit **F4** löschen
- Beide Stimmgabeln möglichst gleich stark anstoßen und Messung mit **F9** auslösen

**Auswertung**

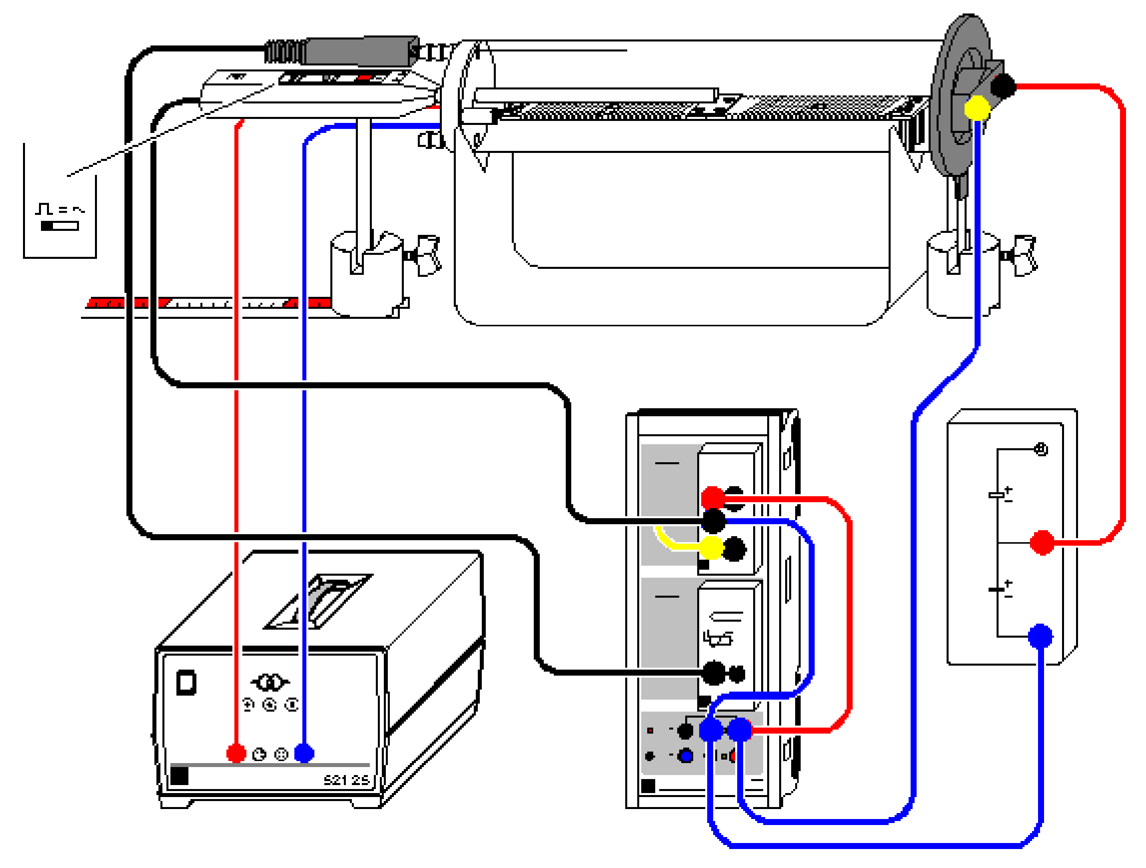
Wenn die Amplituden der beiden Stimmgabeln gleich groß sind, bilden sich in der Schwebung die Knoten und Bäuche gut aus. Die Schwebungsfrequenz $f_s$ ergibt sich aus dem Abstand $T_s$ zwischen zwei Knoten zu $f_s = 1/T_s$.

Für eine gute Genauigkeit der Ermittlung der neuen Schwingungsdauer $T_n$ ist es sinnvoll, über etwa 10 Perioden zu mitteln und erst dann die neue Schwingungsfrequenz als $f_n = 1/T_n$ zu bestimmen. Als Hilfsmittel zur Bestimmung der Zeitdifferenzen eignen sich z. B. senkrechte Markierungslinien oder die direkte Differenzbestimmung.

Im Beispiel ergibt sich $f_1$ = 425 Hz, $f_2$ = 440 Hz, $f_n$ = 433 Hz, $f_s$ = 14,5 Hz und bestätigt damit gut die Theorie $f_n = ½ (f_1 + f_2)$ = 432,5 Hz und $f_s = | f_1 – f_2 |$ = 15 Hz.

Im **Frequenzspektrum** (mit der Maus anklicken) lassen sich die beiden Frequenzen $f_1$ und $f_2$ der Stimmgabeln sowie deren Amplituden ablesen. Die Frequenzen lassen sich dort am einfachsten als Peakschwerpunkte bestimmen.

## Schallgeschwindigkeit in Luft




Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Im Versuch wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Schallimpulses bestimmt, und damit – da Gruppen- und Phasengeschwindigkeit übereinstimmen – die Schallgeschwindigkeit. Der Schallimpuls wird erzeugt, indem eine steile Spannungsflanke die Membran eines Lautsprechers ruckartig bewegt; diese Bewegung bewirkt die Druckschwankung in der Luft. Im einem Abstand zum Lautsprecher wird der Schallimpuls mit einem Mikrofon registriert.

Zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit c wird die Zeit t zwischen der Impulserzeugung am Lautsprecher und der Registrierung am Mikrofon gemessen. Da der genaue Startort des Schallimpulses am Lautsprecher nicht direkt bestimmt werden kann, werden zwei Messungen durchgeführt, wobei sich das Mikrofon einmal am Ort s1 und einmal bei s2 befindet. Die Schallgeschwindigkeit ergibt sich aus der Wegdifferenz $\Delta s = s1-s2$ und der zugehörigen Laufzeitdifferenz $\Delta t = t1-t2$ zu $c = \Delta s/\Delta t$.

In dem Gerät zur Schallgeschwindigkeit kann mit Hilfe eines Heizkörpers die Lufttemperatur erhöht werden, gleichzeitig sind störende Umgebungseinflüsse wie Temperaturunterschiede sowie Luftkonvektionen minimiert. In diesem System bleibt der Druck p konstant (tatsächlicher Umgebungsluftdruck). Mit steigender Temperatur T sinkt die Dichte ρ, die Schallgeschwindigkeit c nimmt zu.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Timer-Box | 524 034 |
| 1 | Temperatur-Box | 524 045 |
| 1 | Gerät zur Schallgeschwindigkeit | 413 60 |
| 1 | Ständer für Rohre und Spulen | 516 249 |
| 1 | Breitbandlautsprecher | 587 08 |
| 1 | Universalmikrofon | 586 26 |
| 1 | Temperaturfühler NiCr-Ni | 666 193 |
| 1 | Transformator 12 V, 3,5 A, z. B. | 521 25 |

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Gleichspannungsquelle, ca. 5 V | |
| | z. B. Batteriekasten 2 x 4,5 V | 576 89 |
| | mit Satz Monozellen, 1,5 V | 503 11 |
| 1 | Maßstabschiene, 0,5 m | 460 97 |
| 2 | Sockel | 300 11 |
| 1 | Experimentierkabel, 50 cm, blau | 500 422 |
| 1 | Paar Kabel, 25 cm, rot und blau | 501 44 |
| 2 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

- Heizkörper des Gerätes zur Schallgeschwindigkeit im Kunststoffrohr auf die Steckerstifte im Deckel aufstecken.
- Kunststoffrohr auf den Ständer für Rohre und Spulen legen und den Breitbandlautsprecher so heranschieben, dass das Kunststoffrohr möglichst dicht abgeschlossen ist.
- Universalmikrofon etwa 1 cm weit in die mittlere Bohrung des Deckels schieben und so ausrichten, dass es sich beim Verschieben parallel zum Kunststoffrohr bewegt. Funktionsschalter des Universalmikrofons auf Betriebsart „Trigger“ stellen und Einschalten nicht vergessen.
- Maßstabschiene direkt unter den Sockel legen.
- Timer-Box auf Eingang A und Temperatur-Box auf Eingang B des Sensor-CASSYs stecken und Schaltung gemäß Skizze herstellen; Pluspol der Batterie an schwarze Buchse des Lautsprechers, Minuspol über Relais an gelbe Buchse des Lautsprechers anschließen (bei falscher Polung des Lautsprechers weichen die Messwerte systematisch von den tatsächlichen Werten ab, da falsche Flanken für die Start- und/oder die Stoppzeit genommen werden).

**Sicherheitshinweise**

Das Kunststoffrohr des Geräts zur Schallgeschwindigkeit kann thermisch zerstört werden.
- nicht über eine Temperatur von 80 °C hinaus heizen
- maximal zulässige Spannung von 25 V (ca. 5 A) für den Heizdraht nicht überschreiten.

**Versuchsdurchführung**

a) Messung bei Raumtemperatur
- Einstellungen laden (die Schallimpulse werden bereits erzeugt und die Laufzeiten $\Delta t_{A1}$ angezeigt)
- Mehrere Einzelmessungen mit **F9** abspeichern
- Universalmikrofon ganz in das Kunststoffrohr hineinschieben und Verschiebeweg $\Delta s$ auf der Maßstabschiene ablesen.
- Mehrere Einzelmessungen mit **F9** abspeichern
- Schallgeschwindigkeit aus $c = \Delta s/\Delta t$ ermitteln (Mittelwerte der Laufzeiten im Diagramm durch **Mittelwert einzeichnen** bestimmen).

b) Messung in Abhängigkeit von der Temperatur
- Einstellungen laden (die Schallimpulse werden bereits erzeugt und die Laufzeiten $t_{A1}$ angezeigt)
- Universalmikrofon wieder herausziehen
- Bei Raumtemperatur erneut die Laufzeit $\Delta t_{A1}$ bestimmen und mit der bereits ermittelten Schallgeschwindigkeit c den Abstand $s=c\cdot\Delta t_{A1}$ zwischen Mikrofon und Lautsprecher berechnen und in Tabelle eintragen (erste Tabellenzelle der s-Spalte anklicken).
- Heizdraht über Buchsen im Deckel des Gerätes zur Schallgeschwindigkeit an Spannungsversorgung (12 V / ca. 3,5 A) anschließen.
- Bei steigender Temperatur die aktuellen Laufzeiten mit **F9** abspeichern (z. B. alle 5 °C).

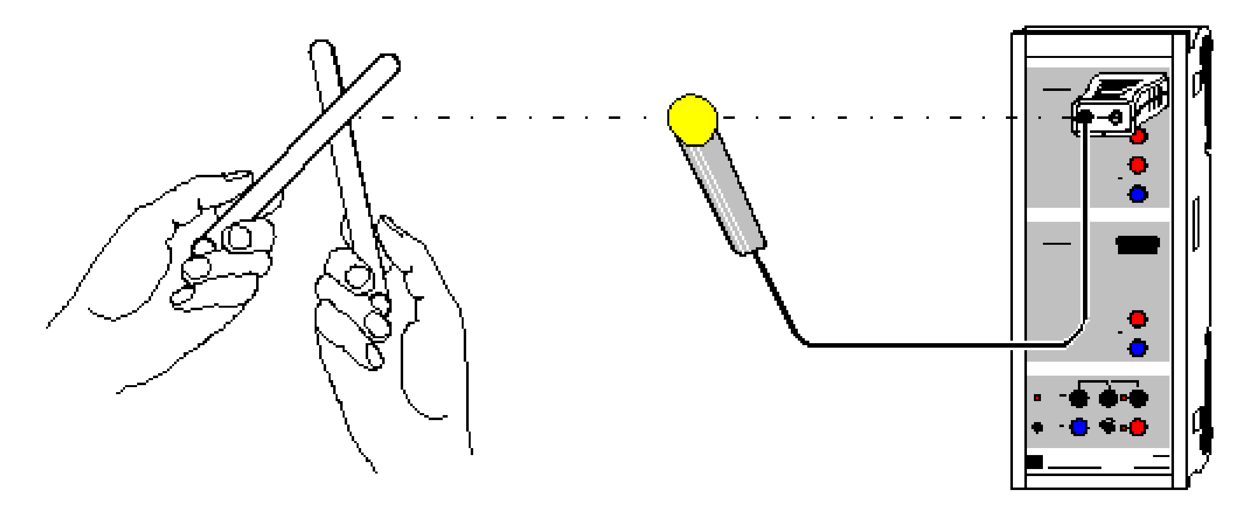
**Auswertung**

Nachdem die Schallgeschwindigkeit bei Raumtemperatur in a) und damit der Abstand s zwischen Mikrofon und Lautsprecher in b) bereits ermittelt wurden, berechnet die Software zu jeder Laufzeit $\Delta t_{A1}$ gleichzeitig die passende Schallgeschwindigkeit c. In der Darstellung **Temperatur** werden bereits während der Messung die Schallgeschwindigkeiten gegen die Temperatur dargestellt. Mit einer Geradenanpassung lässt sich die Literaturangabe

$c = (331{,}3 + 0{,}6 \cdot \vartheta/°C)$ m/s

bestätigen.

## Schallgeschwindigkeit in Luft mit 2 Mikrofonen



❑ Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Im Versuch wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Schallimpulses bestimmt, und damit – da Gruppen- und Phasengeschwindigkeit übereinstimmen – die Schallgeschwindigkeit. Der Schallimpuls wird erzeugt, indem zwei Stativstangen aneinander geschlagen werden. Dies bewirkt die Druckschwankung in der Luft. Der Schallimpuls wird nacheinander von zwei Mikrofonen registriert, die einen Abstand $\Delta s$ voneinander haben.

Zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit c wird die Zeit $\Delta t$ zwischen den beiden Registrierungen an den Mikrofonen gemessen. Die Schallgeschwindigkeit ergibt sich aus der Wegdifferenz $\Delta s$ und der zugehörigen Laufzeitdifferenz $\Delta t$ zu $c = \Delta s/\Delta t$.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Mikrofon S | 524 059 |
| 1 | Holzmaßstab | 311 03 |
| 2 | Stativstangen, 47 cm | 300 42 |
| 1 | Kondensatormikrofon mit 3,5 mm-Klinkenstecker, z. B. aus dem Computerfachhandel | |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Das externe Mikrofon wird in einem Abstand $\Delta s$ = 0,50 m vor dem internen Mikrofon aufgebaut. Bei der Schallerzeugung durch die Stativstangen ist darauf zu achten, dass die Schallquelle in direkter Verlängerung der Strecke zwischen den beiden Mikrofonen liegt. Außerdem sollte die Schallkopplung über den Tisch möglichst gering sein, da sonst zu hohe Geschwindigkeiten gemessen werden können.

### Versuchsdurchführung

❑ Einstellungen laden
- Messung mit **F9** starten
- Einige Messungen durch Aneinanderschlagen der Stativstangen auslösen. Dabei sollten Umgebungsgeräusche möglichst vermieden werden, um die Messung nicht zu beeinflussen.
- Messung mit **F9** stoppen
- Abstand $\Delta s$ zwischen den beiden Mikrofonen vergrößern
- Messung wiederholen

**Auswertung**

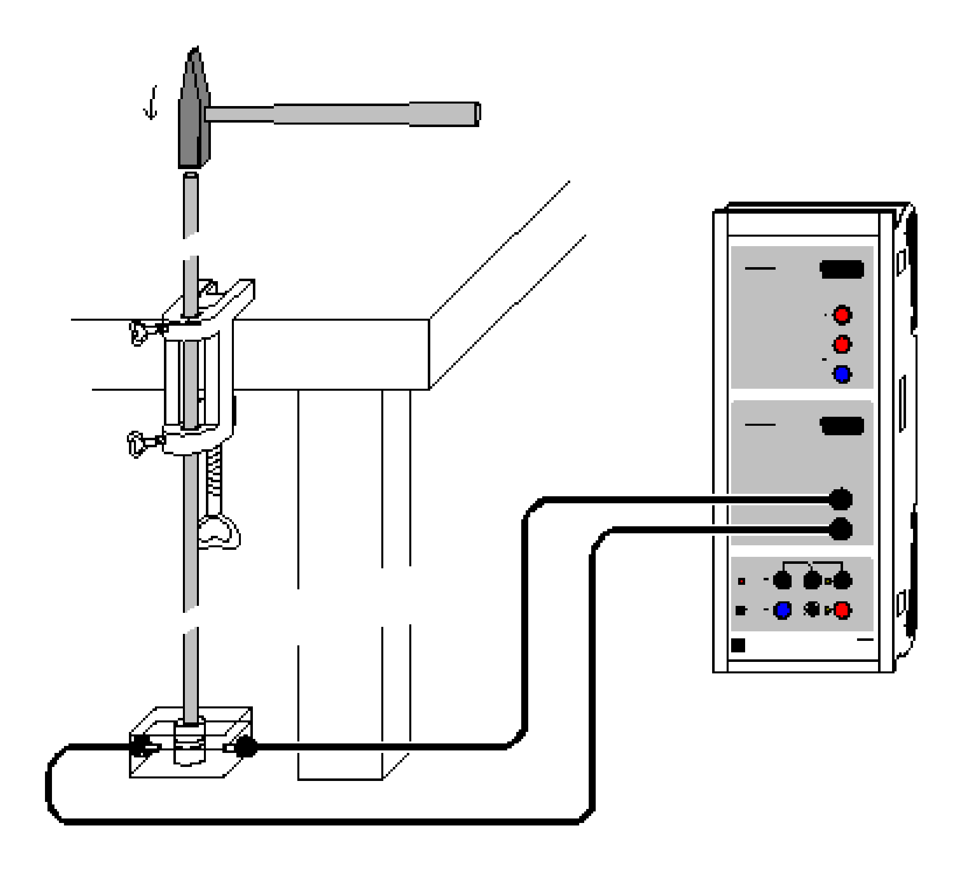
Während der Messung können Umgebungsgeräusche Fehlmessungen erzeugen. Diese Fehlmessungen können leicht gelöscht werden. Dazu im Diagramm den falschen Wert anklicken und löschen (Backspace).

Anschließend die Mittelwerte der Laufzeiten im Diagramm durch **Mittelwert einzeichnen** bestimmen. Jeder Mittelwert kann bequem direkt nach seiner Berechnung in die Darstellung **Schallgeschwindigkeit** (mit der Maus anklicken) übernommen werden, indem er aus der Statuszeile in die neue Tabelle gezogen wird (Drag & Drop).

Zusätzlich wird der dazugehörende Abstand $\Delta s$ der beiden Mikrofone in die entsprechende Spalte eingetragen. Dabei entsteht dann ein $\Delta s(\Delta t)$-Diagramm, dessen Gerade die Steigung $c = \Delta s/\Delta t$ hat.

Bei Raumtemperatur ergibt sich eine Schallgeschwindigkeit von etwa c = 346 m/s.

## Schallgeschwindigkeit in Festkörpern



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es werden die Schallgeschwindigkeiten in Aluminium-, Kupfer-, Messing- und Stahlstäben bestimmt. Zur Messung wird die Mehrfachreflexion eines kurzen Schallimpulses an den Stabenden ausgenutzt. Der Impuls wird durch Anticken des oberen Stabendes mit einem kleinen Hammer erzeugt und läuft zunächst nach unten. An beiden Stabenden wird er nacheinander mehrfach reflektiert, wobei die an einem Stabende ankommenden Impulse gegeneinander um $\Delta t$ verzögert sind. Da $\Delta t$ die Summe aus Hin- und Rücklaufzeit ist, ergibt sich die Schallgeschwindigkeit c zusammen mit der Stablänge s zu

$c = 2s / \Delta t$.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Satz 3 Metallstangen | 413 65 |
| 1 | Stativstange, 150 cm | 300 46 |
| 1 | Piezoelektrischer Körper | 587 25 |
| 1 | Tischklemme, einfach | 301 07 |
| 2 | Kabel, 200 cm, schwarz | 501 38 |
| 1 | Kleiner Hammer | |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Die Metallstäbe ruhen auf dem piezoelektrischen Körper, der die Druckschwingungen des Schallimpulses in elektrische Schwingungen umwandelt. Diese werden an Eingang B des Sensor-CASSYs aufgezeichnet.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Messung mit **F9** starten (wartet auf Triggersignal)
- Oberes Ende des ersten Metallstabs mit kleinem Hammer anticken (erzeugt Triggersignal)
- Experiment mit anderem Metallstab wiederholen oder Fehlmessung durch **Letzte Messreihe löschen** (rechte Maustaste auf Tabelle) eliminieren

### Auswertung

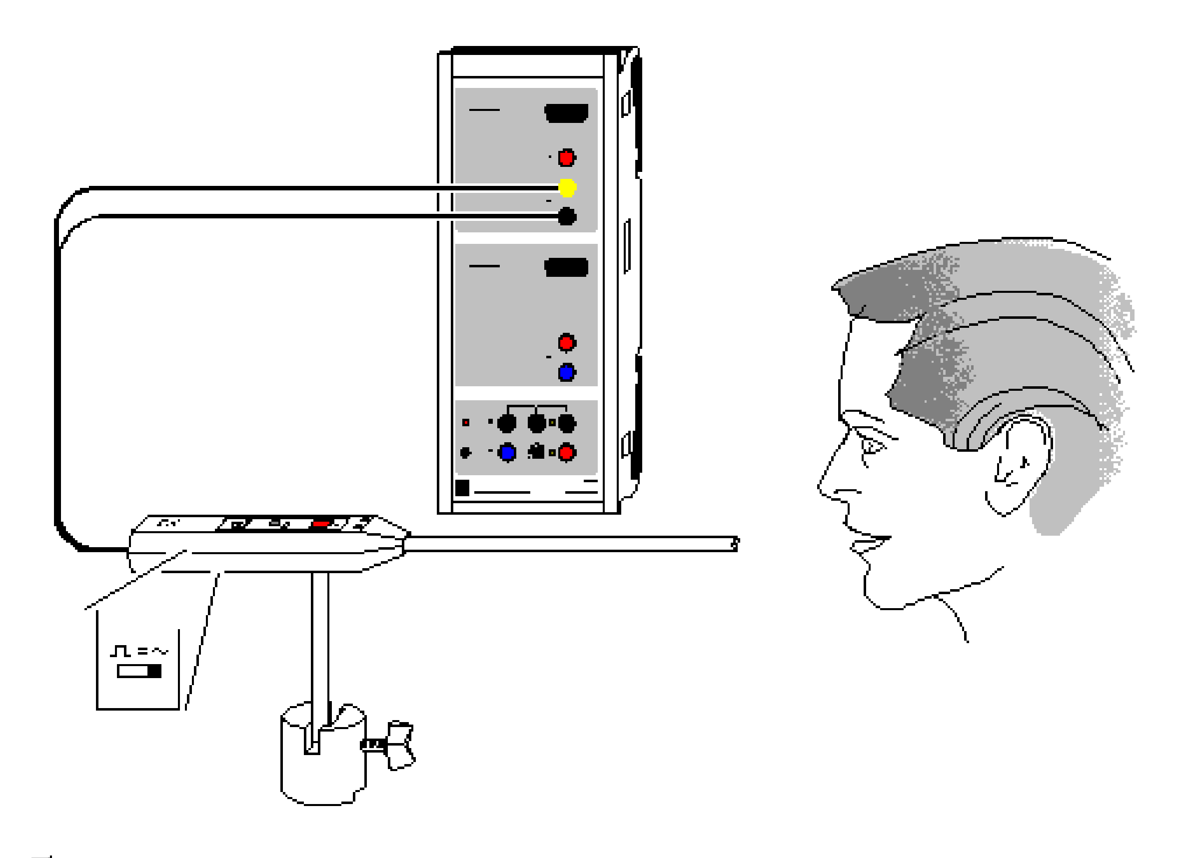
Die zeitlichen Abstände $\Delta t$ der Minima oder Maxima lassen sich z. B. durch senkrechte Markierungslinien, Peakschwerpunkte oder direkte Differenzmessung bestimmen. Da $\Delta t$ die Summe aus Hin- und Rücklaufzeit ist, ergibt sich die Schallgeschwindigkeit c zusammen mit der Stablänge s zu

$c = 2s / \Delta t$.

Im Beispiel ergeben sich folgende Schallgeschwindigkeiten

| Metall | Messung | Literaturwert |
|---|---|---|
| Messing | 3500 m/s | 3300 m/s |
| Kupfer | 3900 m/s | 3710 m/s |
| Aluminium | 5000 m/s | 5040 m/s |

## Tonanalyse



Beispiel laden

**Versuchsbeschreibung**

Es werden Klänge unterschiedlicher Klangfarbe und –höhe (z. B. Vokale der menschlichen Stimme oder Klänge von Musikinstrumenten) durch eine Fourieranalyse untersucht. Das entstehende Frequenzspektrum zeigt die Grundfrequenz $f_0$ mit den angeregten Oberwellen.

Die verschiedenen Vokale unterscheiden sich vor allem in den Oberwellenamplituden. Die Grundfrequenz $f_0$ hängt von der Stimmhöhe ab. Sie beträgt bei hohen Stimmen ca. 200 Hz und bei tiefen Stimmen ca. 80 Hz. Die Stimmfarbe wird durch die etwas unterschiedliche Anregung der Oberwellen bestimmt. Das gleiche gilt für die Klangfarbe von Musikinstrumenten.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Universalmikrofon | 586 26 |
| 1 | Sockel | 300 11 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Das Universalmikrofon (Funktionsschalter auf Betriebsart „Signal“ und Einschalten nicht vergessen) wird an Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen.

**Versuchsdurchführung**

Einstellungen laden
- Messung mit **F9** starten
- **Standard**-Darstellung wählen und Signalstärke mit Einsteller am Mikrofon optimieren
- Verschiedene Töne aufnehmen und vergleichen (**Standard**-Darstellung zeigt Signalform und **Frequenzspektrum** zeigt Fourieranalyse)

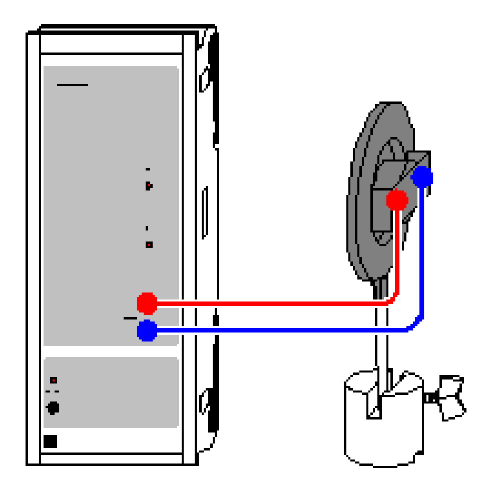
- Zum Stoppen der Messung die **wiederholende Messung** im Messparameterfenster ausschalten oder sofort nach Ende einer Aufnahme **F9** drücken
- Zum Vergleich verschiedener Frequenzspektren **neue Messreihe anhängen** im Messparameterfenster wählen und Messung erneut mit **F9** starten

**Auswertung**

Die Grundfrequenz sowie die Frequenzen der Oberwellen lassen sich leicht mit der Koordinatenanzeige oder auch als Peakschwerpunkte im **Frequenzspektrum** (mit der Maus anklicken) bestimmen. Die Amplituden der Oberwellen machen die Klangfarbe des aufgenommenen Klangs aus.

Da das menschliche Ohr Schallintensitäten logarithmisch wahrnimmt, ist die logarithmische Darstellung des Frequenzspektrums dem Hörempfinden des menschlichen Ohr besser angepasst als die lineare Darstellung. Die logarithmische Darstellung kann durch Klick mit der rechten Maustaste auf die y-Achse des Frequenzspektrums gewählt werden (Minimum dabei etwas hochsetzen, z. B. auf −3).

## Tonsynthese



❑ Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es werden Klänge unterschiedlicher Klangfarbe und –höhe erzeugt, indem die Grundfrequenz $f_0$, sowie das Amplitudenverhältnis zwischen der Grundfrequenz und ihren Oberwellen vorgegeben wird. Das Ergebnis ist als Oszillogramm und als Frequenzspektrum sichtbar, sowie als Ton hörbar.

Es zeigt sich, dass die Klangfarbe durch die spezielle Anregung der Oberwellen bestimmt wird. Außerdem lässt sich exemplarisch zeigen, wie sich periodische Funktionen durch die harmonische Zusammensetzung von Sinusschwingungen erzeugen lassen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Power-CASSY | 524 011 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Breitbandlautsprecher | 587 08 |
| 1 | Sockel | 300 11 |
| 1 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Der Lautsprecher wird an den Ausgang des Power-CASSYs angeschlossen.

### Versuchsdurchführung

❑ Einstellungen laden

- Eine durch Sinusschwingungen angenährte Rechteckschwingung wird am Lautsprecher ausgegeben. Als Formel für die Kurvenform wurde **synth(1:0:1/3:0:1/5:0:1/7:0:1/9:0:1/11:0:1/13:0:1/15:0:1/17:0:1/19)** angegeben. Dies ist eine Abkürzung für die ebenfalls mögliche ausgeschriebene Form
  **1***sin(360*x)+ **0***sin(2*360*x)+ **1/3***sin(3*360*x)+ **0***sin(4*360*x)+ **1/5***sin(5*360*x)+ **0***sin(6*360*x)+ **1/7***sin(7*360*x)+ **0***sin(8*360*x)+ **1/9***sin(9*360*x)+ **0***sin(10*360*x)+ **1/11***sin(11*360*x)+ **0***sin(12*360*x)+ **1/13***sin(13*360*x)+ **0***sin(14*360*x)+ **1/15***sin(15*360*x)+ **0***sin(16*360*x)+ **1/17***sin(17*360*x)+ **0***sin(18*360*x)+ **1/19***sin(19*360*x).
- In den Einstellungen $U_1$ lassen sich einzelne Oberwellenamplituden verändern. Grundfrequenz und Amplitude lassen sich dort ebenfalls einstellen. Das Ergebnis ist sofort hörbar, sowie nach dem Start einer Messung mit **F9** auch sichtbar.
- Zur angenäherten Synthese eines Dreiecks kann
  **synth(1:0:-1/3^2:0:1/5^2:0:-1/7^2:0:1/9^2:0:-1/11^2:0:1/13^2)**
  verwendet werden. Die Formel muss nicht eingetippt werden, sondern kann auch über Kopieren aus dem Hilfesystem und Einfügen in das Formeleingabefeld (rechte Maustaste) übertragen werden.

**Auswertung**

Nach einer Aufzeichnung mit **F9** lässt sich in der Darstellung **Frequenzspektrum** (mit der Maus anklicken) leicht eine Änderung der Verhältnisse der Oberwellenamplituden verfolgen.

## pV-Diagramm eines Heißluftmotors

Beispiel laden

### Sicherheitshinweise

- Vor jedem Versuch sicherstellen, dass die Heizplatte entsprechend der Kerben aufgesetzt ist und die Heizwendel den Verdrängerkolben nicht berührt.
- Der Heizkopf des Heißluftmotors kann sehr heiß werden und die Pleuel des Antriebs- und Verdrängerkolbens können bei laufendem Motor zu Verletzungen führen. Deshalb müssen die Berührungsschutzkörbe im Betrieb immer verwendet werden.
- Motor nicht ohne Kühlwasserdurchfluss benutzen. Der Motor kann sowohl an der Wasserleitung als auch mit einer Umwälzpumpe und einem Wasserreservoir benutzt werden, das zweckmäßigerweise mit destilliertem oder abgekochten Wasser (kalkfrei) gefüllt wird.
  Sollte sich bei Betrieb mit Leitungswasser der Durchfluss verringern, gesamtes System mit warmer Entkalkungslösung spülen.
- Beide Kolben des Heißluftmotors müssen regelmäßig mit Silikonöl geschmiert werden. Am einfachsten geht das, wenn man die Heizplatte abnimmt, den Verdrängerkolben in seine untere Stellung fährt und mit einem Trinkhalm Silikonöl mit einer Spritzflasche so einbringt, dass es an der Wand des Kolbens auf den oberen Dichtring nach unten läuft. Da die Dichtung nicht völlig dicht ist, gelangt nach kurzer Zeit auch genügend Öl auf den unteren Dichtring.
  Bei ungenügender Schmierung wird der Motor laut und läuft nur noch mit verringerter Drehzahl!
- Netzspule (562 21) nicht ohne Transformatorkern anschließen.

### Versuchsbeschreibung

Thermodynamische Kreisprozesse werden häufig als geschlossene Kurven in einem pV-Diagramm (p: Druck, V: Volumen) beschrieben. Die dem System je nach Umlaufsinn entnommene oder zugeführte Arbeit entspricht dann der durch die Kurve eingeschlossenen Fläche.

Im Versuch wird das pV-Diagramm des Heißluftmotors als Wärmekraftmaschine aufgezeichnet. In Abhängigkeit von der Zeit t misst ein Drucksensor den Druck p im Zylinder und ein Wegaufnehmer die Position s des Arbeitskolbens, aus der das eingeschlossene Volumen V berechnet wird. Die Messwerte werden auf dem Bildschirm direkt in einem pV-Diagramm dargestellt. Zur weiteren Auswertung wird die als Kolbenreibung verrichtete mechanische Arbeit

$$W = -\int p \cdot \mathrm{d}V$$

pro Umlauf berechnet.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Stromquellen-Box | 524 031 |
| 1 | Wegaufnehmer | 529 031 |
| 1 | B-Box | 524 038 |
| 1 | Drucksensor | 529 038 |
| 1 | Verbindungskabel, 6-polig | 501 16 |
| 1 | Heißluftmotor | 388 182 |
| 1 | Angelschnur | 309 48 |
| 1 | Schraubenfeder | 352 08 |
| 1 | U-Kern mit Joch | 562 11 |
| 1 | Spannvorrichtung | 562 12 |
| 1 | Netzspule, 500 Windungen | 562 21 |
| 1 | Kleinspannungsspule, 50 Wnd. | 562 18 |
| 2 | PVC-Schlauch, Ø 8 mm | 307 70 |
| 1 | Tauchpumpe 12 V | 388 181 |
| 1 | DC-Netzgerät 0 ... 20 V | 521 54 |
| 2 | Kabel, 100 cm, schwarz | 501 33 |
| 1 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | Wasserbehälter 10 l | |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Der zerlegbare Transformator wird montiert und das Joch fest aufgespannt.

Die Heizplatte wird entsprechend Gebrauchsanleitung montiert und die Heizung mit den beiden Experimentierkabeln an die beiden äußersten Buchsen der Kleinspannungsspule angeschlossen.

Der Schlauch des Drucksensors wird an den Druckstutzen des Arbeitskolben-Pleuels angeschlossen. Der Drucksensor wird über die B-Box an Eingang B des Sensor-CASSYs angeschlossen. Der Wegaufnehmer wird mit zwei Kupplungssteckern auf der Grundplatte befestigt und ein Faden entsprechend Skizze geschlungen und über die Stromquellen-Box an Eingang A angeschlossen. Der Arbeitskolben hat nach unten einen Stift mit Öse zum Befestigen des Fadens. Die Rückholfeder wird in das Loch am Gestellkopf eingehängt. Sie muss im unteren Totpunkt bereits Spannung aufweisen. Faden zweimal um die Rolle des Wegaufnehmers schlingen, damit kein Schlupf auftritt! Die Stellung des Potentiometers muss so eingestellt werden, dass im oberen Totpunkt des Arbeitszylinders ein Volumen von ca. 50 cm³ angezeigt wird.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Test der richtigen Einstellung des Wegaufnehmers: Der Motor wird einmal von Hand durchgedreht und beobachtet, ob die Volumenanzeige innerhalb des Messbereiches ist. Ist das nicht der Fall, wird der Faden leicht entspannt und das Rad des Wegaufnehmers bis zur korrekten Anzeige verdreht.

- Heizung mittels Schalter an der Netzspule einschalten. Beim ersten Start ist es sinnvoll, ca. 1 Minute zu warten, bevor man den Motor anwirft, damit das Gas für einen leichten Anlauf heiß genug wird. Bei weiteren Versuchen kann man den Motor starten, wenn die Heizwendel zu glühen beginnt.
- Messung mit **F9** starten. Es werden die voreingestellte Anzahl Messpunkte automatisch gemessen und dargestellt; die Messung ist auf wenige Umläufe eingestellt, damit das folgende Integrieren einfacher wird.

### Auswertung

Volumenbestimmung (bereits im Beispiel durchgeführt): Der Innendurchmesser des Arbeitszylinders beträgt 60 mm, womit sich eine Kolbenfläche von 28,3 cm² ergibt. Zusammen mit dem Weg $s_{A1}$ ergibt sich die Formel für das Volumen mit dem dazugehörigen Messinstrument.

Die Arbeit pro Umlauf ergibt sich aus der eingeschlossenen Fläche. Man erhält sie folgendermaßen: Integral berechnen (Peakfläche) im Auswertungsmenü (rechte Maustaste im Diagramm) wählen und einen Umlauf markieren (Anfangspunkt anklicken und Umlauf bei gedrückter Maustaste abfahren). Die Messpunkte, die zur Integration beitragen, werden farblich anders dargestellt. Es ist in der Regel nicht zu erreichen, dass alle Messpunkte eines Umlaufs erfasst werden; es ist aber auch für die Berechnung der Fläche unerheblich, wenn ein oder zwei Punkte durch eine Gerade substituiert werden. Nach dem Loslassen der Maustaste wird die Fläche ausgefüllt und der Flächeninhalt in der Statuszeile angezeigt.

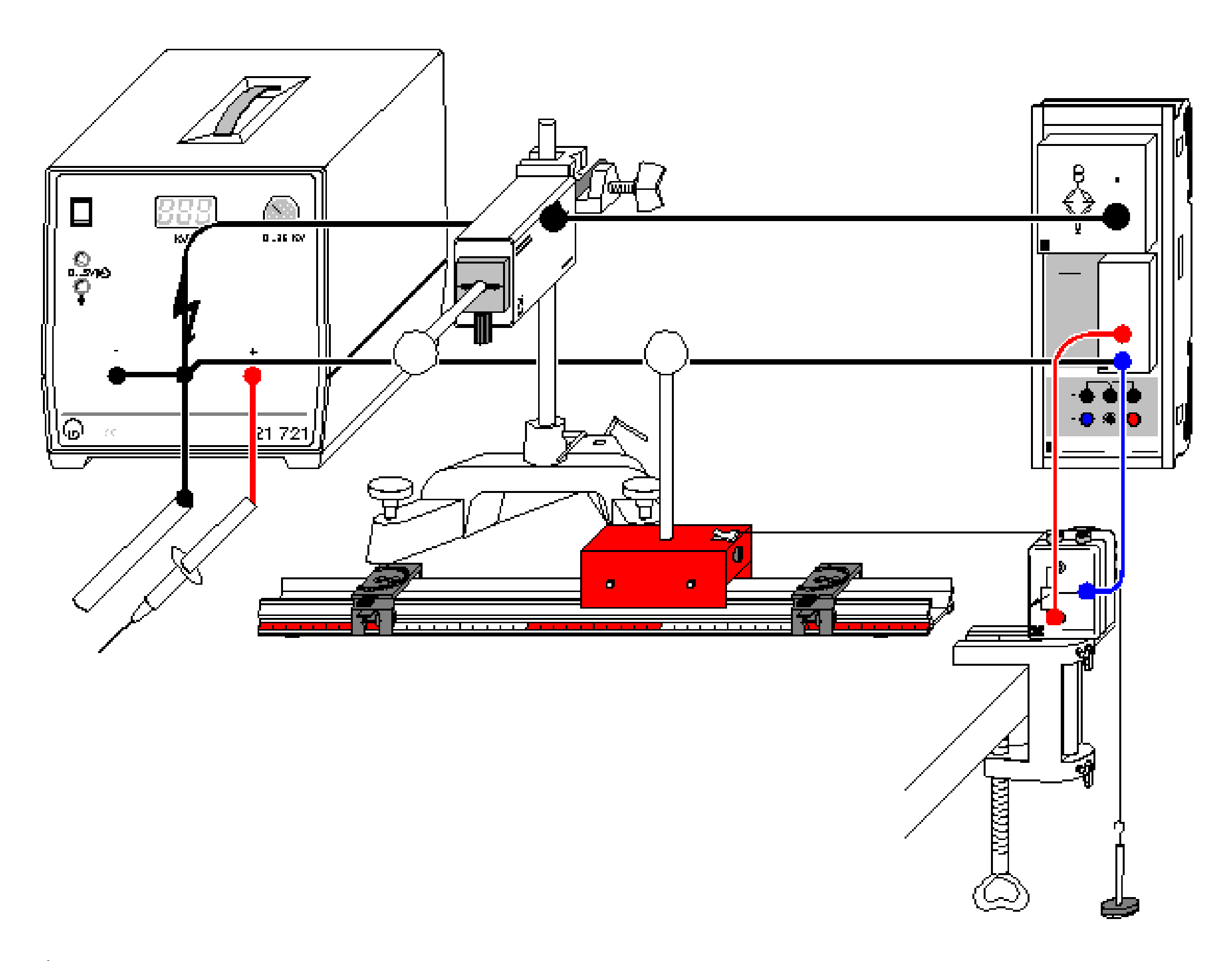
Im Beispiel erhält man für die Arbeit W etwa $W = 18900\ \text{hPa}\cdot\text{cm}^3 = 1{,}89\ \text{Nm}$.

### Anmerkung

Die Leistung des Motors erhält man zu $P = W \cdot f$ mit der Leerlauf-Drehfrequenz f.

Die Frequenz f kann man mit einer Lichtschranke und einem Zählgerät ermitteln. Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung des **Frequenzspektrums** (mit der Maus anklicken). Für eine bessere Frequenzauflösung müssen allerdings mehr Messwerte als im Beispiel registriert werden (Anzahl im Messparameter-Fenster von 125 z. B. auf 2000 erhöhen).

## Coulombsches Gesetz




Beispiel laden

**Vorsicht beim Umgang mit Hochspannung**

Der hochspannungsführende Steckerstift darf weder den Experimentator noch Teile der Versuchsanordnung berühren. Insbesondere ist weder der Kraftsensor noch das Sensor-CASSY gegen Hochspannung geschützt.

Außerdem den Abstand zwischen Hochspannungskabel und den anderen isolierten Kabel während des gesamten Experiments maximal halten.

### Versuchsbeschreibung

Zwei gleichnamig oder ungleichnamig aufgeladene Kugeln üben eine Kraft aufeinander aus. Diese Kraft ist proportional zu der Ladung Q einer jeden Kugel und umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes x der Kugeln voneinander. Die Proportionalität $F \sim 1/x^2$ wird bestätigt.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Brücken-Box | 524 041 |
| 1 | Stromquellen-Box | 524 031 |
| 1 | Kraftsensor | 314 261 |
| 1 | Verbindungskabel, 6polig, 1,5 m | 501 16 |
| 1 | Wegaufnehmer | 529 031 |
| 1 | Hochspannungsnetzgerät, 25 kV | 521 721 |
| 1 | Hochspannungskabel | 501 05 |
| 1 | Satz Ladungskörper | 314 263 |

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Präzisions-Metallschiene | 460 82 |
| 1 | Messwagen 1 | 337 00 |
| 1 | Klemmreiter | 460 95 |
| 1 | Federstecker | 590 02 |
| 1 | Anschlussstab | 532 16 |
| 1 | Stativstange, 25 cm | 300 41 |
| 1 | Kleiner Stativfuß, V-förmig | 300 02 |
| 1 | Leybold-Muffe | 301 01 |
| 1 | Wägesatz, 1 - 50 g | 590 27 |
| 1 | Tischklemme, einfach | 301 07 |
| 1 | Angelschnur | 309 48 |
| 1 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | Kabel, 25 cm, schwarz | 500 414 |
| 3 | Kabel, 100 cm, schwarz | 500 444 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Der Kraftsensor wird über die Brücken-Box auf den Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen. Eine der Kugeln aus dem Satz Ladungsträger wird über das isolierende Zwischenstück auf den Kraftsensor aufgesteckt. Die zweite Kugel wird auf den Messwagen gesteckt, der sich bis zum Klemmreiter frei auf der Präzisions-Metallschiene bewegen kann.

Die Abstandsmessung der Kugeln geschieht über den Wegaufnehmer an der Stromquellen-Box auf Eingang B des Sensor-CASSYs. Dazu wird ein Faden vom Messwagen über die Umlenkrolle des Wegaufnehmers mit einem Massestück gespannt. Dabei muss die Weganzeige SB1 bei zunehmendem Abstand ebenfalls zunehmen und bei Berührung etwa 0 cm anzeigen.

Aus Sicherheitsgründen muss die Stromquellenbox und der Kraftsensor geerdet werden. Dazu ist mit Hilfe eines Federsteckers und eines Experimentierkabels der Kraftsensor mit der Erdbuchse des Hochspannungsnetzgeräts zu verbinden.

### Experimentierhinweise

Für den Experimentiererfolg ist es entscheidend, dass genug Ladung auf die Kugeln aufgebracht werden kann und die Ladung auch dort bleibt (wenigstens während der kurzen Zeit des Experiments). Nach der Aufladung beider Kugeln sollte bei einem Abstand von 0,5 cm eine Kraft von mindestens 5 mN gemessen werden und auch einige Sekunden unverändert bleiben. Falls nicht:

- Isolatoren und Kugeln säubern (z. B. mit Wasser und Spülmittel, mit destilliertem Wasser nachspülen)
- Isolatoren und Kugeln trocknen (z. B. vorsichtig mit der nichtleuchtenden Flamme eines Bunsenbrenners oder mit der Warmluft aus einem Fön)
- Keine brennende Flamme in der Umgebung des Experiments während der Durchführung (sonst wird die Luft ionisiert)
- Anstelle der Hochspannungsquelle andere Ladungsquellen (z. B. an frisch gewaschenen Haaren geriebener PVC-Stab) ausprobieren
- Trockenes Wetter ist Voraussetzung

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Wegnullpunkt kalibrieren – dazu Kugeln berühren lassen, in Einstellungen SB1 **Korrigieren** wählen, als ersten Sollwert 3,8 cm (=Abstand der beiden Kugelmittelpunkte voneinander) eingeben und **Offset korrigieren** wählen
- Startposition bei etwa 0,5 cm lichtem Abstand zwischen beiden Kugeln einnehmen
- Ladungen beider Kugeln über den geerdeten Anschlussstab ableiten
- Kraftnullpunkt einstellen – dazu in Einstellungen FA1 → 0 ← betätigen (evtl. mehrmals) und falls erforderlich durch **LED an/aus** die Smooth-LED auf der Brücken-Box einschalten
- Kugeln gleich- oder gegennamig aufladen – dazu am Hochspannungsnetzgerät ein Pol auf Erde und den anderen Pol für wenige Sekunden auf jeweils eine Kugel legen. Dabei sollte sich eine Kraft von mindestens 5 mN einstellen (siehe obige Experimentierhinweise). Falls gewünscht, kann der Nullpunkt des Kraft-Fensters (und damit der y-Achse des Diagramms) in den Einstellungen FA1 von mittig auf links oder rechts umgestellt werden.

- Messung mit **F9** starten
- Messwagen langsam von Hand vom Kraftsensor wegbewegen
- Bei etwa 15 cm Abstand Messung wieder mit **F9** stoppen

**Auswertung**

Bereits während der Messung erscheint das F(x)-Diagramm. Das Coulombsche Gesetz kann nun durch eine Hyperbelanpassung $1/x^2$ oder durch Umrechnen der x-Achse in $1/x^2$ (Achse mit rechter Maustaste anklicken) mit anschließender Geradenanpassung bestätigt werden.

Dabei stellt sich heraus, dass $F \sim 1/x^2$ erst ab einem Abstand von etwa 6 cm der beiden Kugelmittelpunkte gilt. Bei kürzeren Entfernungen müsste die Abstand korrigiert werden, da es sich nicht um punktförmige Ladungen handelt.

## Kraft im magnetischen Feld einer Luftspule

Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Die magnetische Flussdichte oder einfacher das Magnetfeld **B** ist eine vektorielle Größe. Auf eine Ladung q, die sich mit der Geschwindigkeit **v** im Magnetfeld **B** bewegt, wirkt eine Kraft **F**, die von Größe und Richtung der Geschwindigkeit und von Stärke und Richtung des Magnetfeldes abhängt. Es gilt

$\mathbf{F} = q \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$.

Diese sog. Lorentz-Kraft **F** ist ebenfalls eine vektorielle Größe und steht senkrecht auf der Ebene, die durch **v** und **B** aufgespannt wird.

Die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld kann man auffassen als die Summe der Einzelkräfte auf die bewegten Ladungsträger, die den Strom bilden. Auf jeden einzelnen Ladungsträger q, der sich mit der Driftgeschwindigkeit **v** bewegt, wirkt die Lorentzkraft **F**. Bei einem geraden Leiter resultiert daraus die Gesamtkraft

$\mathbf{F} = q \cdot nAs \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$,

denn die Anzahl der Ladungsträger im Leiter ist das Produkt aus Ladungsträgerdichte n, Leiterquerschnitt A und der Länge s des im Magnetfeld befindlichen Leiterabschnitts.

Es ist üblich, den Vektor **s** einzuführen, der in Richtung des Leiterabschnitts zeigt. Außerdem entspricht das Produkt qnAv der Stromstärke I. Damit ist die Kraft eines Magnetfeldes auf einen geraden stromdurchflossenen Leiterabschnitt gegeben durch

$\mathbf{F} = I \cdot (\mathbf{s} \times \mathbf{B})$

bzw. der Betrag der Kraft durch

$F = I \cdot s \cdot B$,

wenn **s** und **B** senkrecht zueinander stehen. Kraft F und Stromstärke I sind also proportional zueinander mit dem Proportionalitätsfaktor $s \cdot B$.

Im Experiment wird die Kraft auf eine Leiterschleife im homogenen Magnetfeld einer Luftspule in Abhängigkeit vom Leiterschleifenstrom I gemessen. Das homogenes Magnetfeld wird in einer langen geschlitzten Luftspule erzeugt, wobei eine am Kraftsensor befestigte Leiterschleife der Länge s = 8 cm in den Schlitz eintaucht. Nur der horizontale Teil des Leiters erzeugt eine Kraftkomponente, die vom Kraftsensor gemessen werden kann. Aus der Proportionalität zwischen Kraft F und Leiterschleifenstrom I kann somit die magnetische Flussdichte B bestimmt werden.

Die Luftspule hat den Vorteil, dass die magnetische Flussdichte B in ihrem Innern leicht berechnet und mit dem experimentell ermittelten Wert verglichen werden kann. Für eine lange Luftspule gilt

B = µ0 · N · Ic / L

mit der magnetischen Feldkonstanten µ0 = 4π·10^-7 Vs/Am, der Windungszahl N der Luftspule, dem Spulenstrom Ic und der Länge L der Luftspule.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Brücken-Box | 524 041 |
| 1 | 30-A-Box | 524 043 |
| 1 | Kraftsensor | 314 261 |
| 1 | Verbindungskabel, 6polig, 1,5 m | 501 16 |
| 1 | Leiterschleifenhalter | 314 265 |
| 1 | Leiterschleifen für Kraftmessung | 516 34 |
| 1 | Feldspule d = 120 mm | 516 244 |
| 1 | Ständer für Rohre und Spulen | 516 249 |
| 1 | Hochstrom-Netzgerät | 521 55 |
| 1 | AC/DC Netzgerät 0...15 V | 521 50 |
| 1 | Kleiner Stativfuß, V-förmig | 300 02 |
| 1 | Stativstange, 47 cm | 300 42 |
| 1 | Leybold-Muffe | 301 01 |
| 1 | Experimentierkabel, 50 cm, blau | 501 26 |
| 2 | Experimentierkabel, 100 cm, rot | 501 30 |
| 2 | Experimentierkabel, 100 cm, blau | 501 31 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Der Kraftsensor hält die 8 cm lange Leiterschleife mit dem Leiterschleifenhalter und wird so positioniert, dass die Leiterschleife in den Schlitz der Luftspule eintaucht. Die Leiterschleife darf die Luftspule hierbei nicht berühren. Die beiden 4-mm-Buchsen auf der Unterseite des Kraftsensors sind als Einspeisepunkte für den Leiterschleifenhalter gedacht. Sie sind intern nicht beschaltet. Der Kraftsensor wird über die Brückenbox an Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen.

Der Strom fließt vom 20-A-Netzgerät über die 30-A-Box auf Eingang B des Sensor-CASSYs durch die Leiterschleife und wieder zurück zum Netzgerät. Der Strom des zweiten 5-A-Netzgerätes fließt durch die Luftspule.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- In Einstellungen Kraft $F_{A1}$ Kraftsensor durch → 0 ← auf Null setzen und falls erforderlich durch **LED an/aus** die Smooth-LED auf der Brücken-Box einschalten
- Evtl. in Einstellungen Strom $I_{B1}$ den Stromwert zu 0 A **korrigieren** (dazu ersten Sollwert auf 0 A setzen und **Offset korrigieren**)
- Am Netzteil der Luftspule etwa Ic = 5 A einstellen

- Leiterschleifenstrom I von 0-20 A in 2 bis 5 A Schritten durchfahren und jeweils Messwerte mit **F9** aufnehmen. Eine Fehlmessung kann durch **Letzte Tabellenzeile löschen** (rechte Maustaste auf Tabelle) wieder aus der Tabelle entfernt werden
- Falls nur negative Kräfte gemessen werden, Anschlüsse am Leiterschleifenhalter vertauschen
- Zügig experimentieren, da Leiterschleife und Leiterschleifenhalter nur kurzzeitig mit 20 A belastet werden dürfen
- Leiterschleifenstrom am Ende wieder auf 0 A stellen

**Auswertung**

Die Kraft steigt linear mit Zunahme des Stroms an. Der Proportionalitätsfaktor $F/I = B \cdot s$ ergibt sich aus der Steigung einer Ausgleichsgeraden. Daraus lässt sich nun die magnetische Feldstärke B bestimmen.

Im Beispiel ist F/I = 0,138 mN/A und mit s = 0,08 m folgt B = 1,725 mT.

Aus $B = \mu_0 \cdot N \cdot I_c / L$ ergibt sich mit den Werten $\mu_0$ = 1,257 µVs/Am, N = 120, $I_c$ = 4,75 A und L = 0,41 m der berechnete Wert von B = 1,75 mT. Die beiden Ergebnisse stimmen im Rahmen der Messgenauigkeit gut überein.



## Kraft im magnetischen Feld eines Elektromagneten

Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

In diesem Versuch wird ein homogenes Magnetfeld B durch einen Elektromagneten mit U-Kern und Polschuhaufsatz erzeugt. Gemessen wird die Kraft F auf eine stromdurchflossene Leiterschleife in Abhängigkeit von der Stromstärke I (F proportional I). Die Messergebnisse für verschiedene Leiterlängen s werden in einer Übersichtsgrafik zusammengestellt und ausgewertet (F/I proportional s). Insgesamt wird

$F = I \cdot s \cdot B$

bestätigt.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Brücken-Box | 524 041 |
| 1 | 30-A-Box | 524 043 |
| 1 | Kraftsensor | 314 261 |
| 1 | Verbindungskabel, 6polig, 1,5 m | 501 16 |
| 1 | Leiterschleifenhalter | 314 265 |

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Leiterschleifen für Kraftmessung | 516 34 |
| 1 | U-Kern mit Joch | 562 11 |
| 2 | Spulen mit 500 Windungen | 562 14 |
| 1 | Polschuhaufsatz | 562 25 |
| 1 | Hochstrom-Netzgerät | 521 55 |
| 1 | AC/DC Netzgerät 0...15 V | 521 50 |
| 1 | Kleiner Stativfuß, V-förmig | 300 02 |
| 1 | Stativstange, 47 cm | 300 42 |
| 1 | Leybold-Muffe | 301 01 |
| 2 | Experimentierkabel, 50 cm, blau | 501 26 |
| 2 | Experimentierkabel, 100 cm, rot | 501 30 |
| 2 | Experimentierkabel, 100 cm, blau | 501 31 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Die beiden Spulen werden auf den U-Kern geschoben. Die beiden schweren Polschuhe werden quer darüber gesetzt. Die seitlichen Ständer lassen sich hierzu in ihrer Höhe verändern. Der Spalt kann durch Verschieben eines der beiden Polschuhe verändert und mit nichtmagnetischen Abstandshaltern justiert werden.

Der Kraftsensor hält eine der Leiterschleifen mit dem Leiterschleifenhalter und wird so positioniert, dass die Leiterschleife in den Schlitz zwischen den Polschuhen des Elektromagneten eintaucht. Die Leiterschleife darf die Polschuhe hierbei nicht berühren. Die beiden 4-mm-Buchsen auf der Unterseite des Kraftsensors sind als Einspeisepunkte für den Leiterschleifenhalter gedacht. Sie sind intern nicht beschaltet. Der Kraftsensor wird über die Brückenbox an Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen.

Der Strom fließt vom 20-A-Netzgerät über die 30-A-Box auf Eingang B des Sensor-CASSYs durch die Leiterschleife und wieder zurück zum Netzgerät. Der Strom des zweiten 5-A-Netzgerätes fließt nacheinander durch die beiden Spulen. Dabei beachten, dass sich die Magnetfelder der beiden Spulen addieren (A mit A verbinden, beide E zum Netzgerät, siehe Skizze).

### Versuchsdurchführung

- ❑ Einstellungen laden
- In Einstellungen Kraft $F_{A1}$ Kraftsensor durch $\rightarrow 0 \leftarrow$ auf Null setzen und falls erforderlich durch **LED an/aus** die Smooth-LED auf der Brücken-Box einschalten
- Evtl. in Einstellungen Strom $I_{B1}$ den Stromwert zu 0 A **korrigieren** (dazu ersten Sollwert auf 0 A setzen und **Offset korrigieren**)
- Am Netzteil der Spulen etwa 2,5 A einstellen
- Leiterschleifenstrom I von 0-20 A in 2 bis 5 A Schritten durchfahren und jeweils Messwerte mit **F9** aufnehmen. Eine Fehlmessung kann durch **Letzte Tabellenzeile löschen** (rechte Maustaste auf Tabelle) wieder aus der Tabelle entfernt werden
- Falls nur negative Kräfte gemessen werden, Anschlüsse am Leiterschleifenhalter vertauschen
- Zügig experimentieren, da Leiterschleife und Leiterschleifenhalter nur kurzzeitig mit 20 A belastet werden dürfen
- Leiterschleifenstrom am Ende wieder auf 0 A stellen
- Weitere Messkurven mit anderer Leiterschleifenlänge s aufnehmen. Dazu im Messparameterfenster **neue Messreihe anhängen** wählen

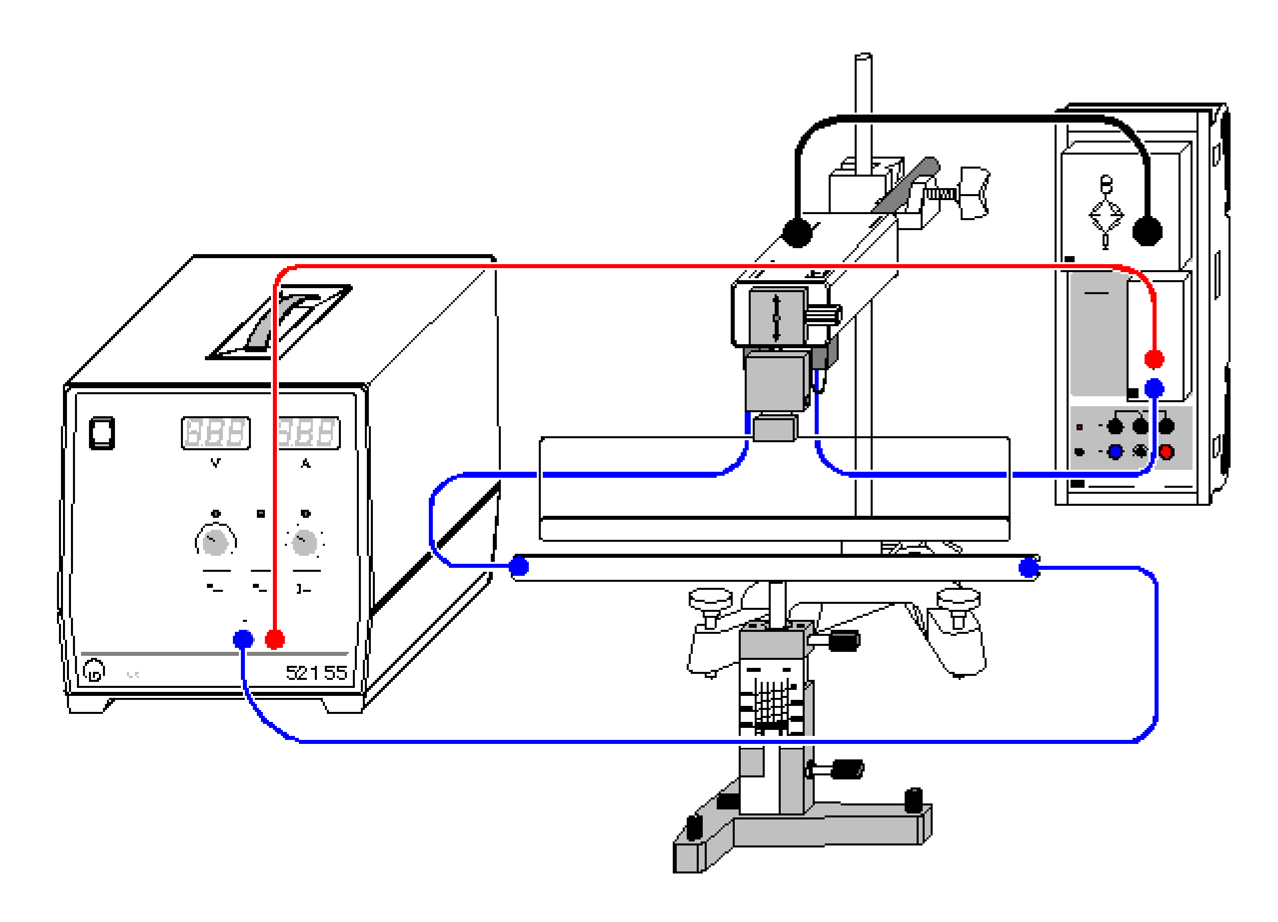
### Auswertung

Für jede Messreihe F(I) wird eine Ausgleichsgerade bestimmt. Nach jeder Ausgleichsgeraden wird in die Darstellung **Magnetfeld** (mit der Maus anklicken) gewechselt. Hier wird eine weitere Tabelle gefüllt, indem zu der jeweiligen Leiterschleifenlänge s die gerade ermittelte Steigung F/I mit der Maus aus der Statuszeile in die Tabelle gezogen wird (Drag & Drop). Der Leiterschleifenlänge s in m wird direkt über die Tastatur in die Tabelle eingetragen. Bereits während der Tabelleneingabe entsteht das gewünschte Diagramm.

In dieser Darstellung ergibt sich aus der Steigung der Ausgleichsgeraden die magnetische Feldstärke B zwischen den Polschuhen, da $F/I = B \cdot s$ (im Beispiel ergibt sich B = 164 mN/(A·m) = 164 mT).

## Kraft zwischen stromdurchflossenen Leitern (Amperedefinition)




Beispiel laden

**Versuchsbeschreibung**

Die Kraft F auf einen Leiter der Länge s, der vom Strom I durchflossen wird, ist in einem Feld der magnetischen Flussdichte B gleich

F = I · s · B.

Wird die Flussdichte B durch einen langen Leiter im Abstand r hervorgerufen, dann gilt

B = const. · I / r.

Damit ist die Kraft F, die zwischen zwei parallelen Leitern wirkt, die vom gleichen Strom I durchflossen werden, gegeben durch

F = const. · $I^2$ · s / r.

Man definiert nun die elektrische Stromstärke folgendermaßen (Amperedefinition): Die Stromstärke I hat den Wert 1 A, wenn zwischen zwei im Abstand r = 1 m parallel angeordneten, geradlinigen unendlich lang gedachten und vom gleichen elektrischen Strom durchflossenen Leitern mit gegen Null gehendem Durchmesser der Betrag der Kraft F pro Länge s

F / s = 2 · 10^-7 N/m

beträgt. Man legt also fest:

const. = 2 · 10^-7 N/A².

Üblicherweise wird const. mit µ0/2π bezeichnet und man erhält

F = µ0/2π · I² · s / r

mit µ0 = 4π·10^-7 N/A² = 4π·10^-7 Vs/Am.

Im Experiment wird ein Leiter der Länge s = 0,30 m in einem Abstand r von wenigen Millimetern über

einen etwas längeren Leiter gehängt. Gemessen wird die Kraft F, die für verschiedene Stromstärken I und Abstände r auf den hängenden Leiter wirkt. Das Ergebnis bestätigt die Amperedefinition.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Brücken-Box | 524 041 |
| 1 | 30-A-Box | 524 043 |
| 1 | Kraftsensor | 314 261 |
| 1 | Verbindungskabel, 6polig, 1,5 m | 501 16 |
| 1 | Leiterschleifenhalter | 314 265 |
| 1 | Leiterschleifen zur elektrodyn. Amperedefinition | 516 33 |
| 1 | Höhenverstellbarer Ständer | 516 31 |
| 1 | Hochstrom-Netzgerät | 521 55 |
| 1 | Kleiner Stativfuß, V-förmig | 300 02 |
| 1 | Stativstange, 47 cm | 300 42 |
| 1 | Leybold-Muffe | 301 01 |
| 2 | Experimentierkabel, 50 cm, blau | 501 26 |
| 1 | Experimentierkabel, 100 cm, rot | 501 30 |
| 1 | Experimentierkabel, 100 cm, blau | 501 31 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Der Kraftsensor hält eine obere Leiterschleife mit dem Leiterschleifenhalter und wird so positioniert, dass der Abstand der beiden Leiterschleifen bei mittlerem Hub des höhenverstellbaren Ständers etwa 5 mm beträgt.

Die beiden 4-mm-Buchsen auf der Unterseite des Kraftsensors sind als Einspeisepunkte für den Leiterschleifenhalter gedacht. Sie sind intern nicht beschaltet. Der Kraftsensor wird über die Brückenbox an Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen. Der Strom fließt vom 20-A-Netzgerät über die 30-A-Box auf Eingang B des Sensor-CASSYs nacheinander durch beide Leiterschleifen und wieder zurück zum Netzgerät.

Nun Leiterschleife auf dem Ständer langsam der hängenden Leiterschleife nähern, bis sich beide gerade berühren (dann haben die Drahtmitten einen Abstand r = 2 mm). Dabei Parallelität des höhenverstellbaren Ständers zur hängenden Leiterschleife überprüfen und gegebenenfalls mit seinen Stellschrauben korrigieren.

Nullpunktschieber am höherverstellbaren Ständer auf eine definierte Marke einstellen und mittels Höhenverstellung den gewünschten Abstand zwischen beiden Leiterschleifen einstellen (z. B. r = 4 mm).

Gute Messergebnisse erfordern hier sehr sorgfältige Justierungen.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- In Einstellungen Kraft $F_{A1}$ Kraftsensor durch $\rightarrow 0 \leftarrow$ auf Null setzen und falls erforderlich durch **LED an/aus** die Smooth-LED auf der Brücken-Box einschalten
- Evtl. in Einstellungen Strom $I_{B1}$ den Stromwert zu 0 A **korrigieren** (dazu ersten Sollwert auf 0 A setzen und **Offset Korrigieren**)
- Leiterschleifenstrom I von 0-20 A in 2 A Schritten durchfahren und jeweils Messwerte mit **F9** aufnehmen. Eine Fehlmessung kann durch **Letzte Tabellenzeile löschen** (rechte Maustaste auf Tabelle) wieder aus der Tabelle entfernt werden
- Falls nur negative Kräfte gemessen werden, Anschlüsse am Leiterschleifenhalter vertauschen
- Zügig experimentieren, da Leiterschleife und Leiterschleifenhalter nur kurzzeitig mit 20 A belastet werden dürfen
- Leiterschleifenstrom am Ende wieder auf I = 0 A stellen
- Weitere Messkurven mit anderen Leiterschleifenabständen r aufnehmen. Dazu im Messparameterfenster **neue Messreihe anhängen** wählen



**Auswertung**

Für jede Messreihe F(I) wird eine Parabel angepasst. Nach jeder Parabel wird in die Darstellung **Amperedefinition** (mit der Maus anklicken) gewechselt. Hier wird eine weitere Tabelle gefüllt, indem zu dem jeweiligen Leiterschleifenabstand r der gerade ermittelte Parameter $F/I^2$ der Parabel aus der Statuszeile mit der Maus in die Tabelle gezogen wird (Drag & Drop). Der Leiterschleifenabstand r wird direkt über die Tastatur in die Tabelle eingetragen. Bereits während der Tabelleneingabe entsteht das gewünschte Diagramm.

In dieser Darstellung ergibt sich aus dem Parameter $F/I^2 \cdot r$ einer Hyperbelanpassung 1/x die Konstante der Amperedefinition zu

$\mu 0/2\pi = F/I^2 \cdot r / s = F/I^2 \cdot r / 0{,}3$ m.

Für das Beispiel bedeutet dies

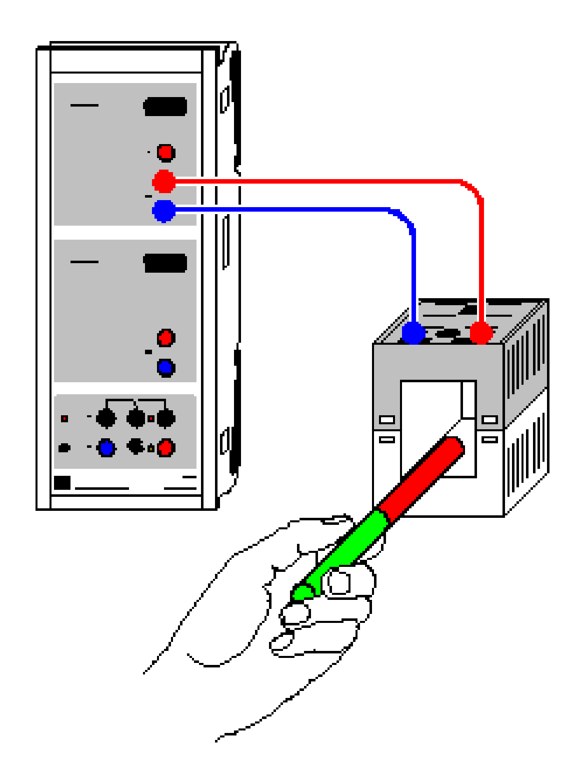
$\mu 0/2\pi = 0{,}000062$ mN·m/A² / 0,3 m = 2,1·10^-7 N/A² = 2,1·10^-7 Vs/Am.

Alternativ kann in der Darstellung Amperedefinition auf die x-Achse von r in 1/r umgerechnet werden (Achse mit der rechten Maustaste anklicken). In dieser Darstellung ergibt sich $\mu 0/2\pi$ durch eine Geradenanpassung.

**Anmerkung**

Die Messung enthält systematische Fehler. Zum einen hat der Leiter eine endliche Länge. Dies bedeutet, dass am Leiterende nicht mehr das angenommene Magnetfeld herrscht und hier die Kräfte kleiner werden. Außerdem wirkt auf den hängende Leiter eine kleine entgegengesetzte Kraftkomponente begründet im oberen zurücklaufenden Leiterteil.

## Spannungsstoß (Faradaysches Induktionsgesetz)



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Faraday fand im Jahre 1831, dass jede Änderung des magnetischen Flusses Φ durch eine geschlossene Leiterschleife in dieser eine elektrische Spannung induziert. Der magnetische Fluss ist dabei durch das Leiterschleifenflächenintegral der magnetischen Flussdichte bzw. Induktion **B**

$$\Phi = \int_A \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

gegeben. Insbesondere zeigte er, dass diese induzierte Spannung proportional zur zeitlichen Ableitung des magnetischen Flusses Φ ist und damit der Spannungsstoß

$$\int_1^2 U\,dt \sim \Phi_2 - \Phi_1 = \Delta\Phi$$

nur von der Änderung des magnetischen Flusses abhängt. Er entdeckte schließlich das Faradaysche Induktionsgesetz

$$U = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Es wird die induzierte Spannung U(t) für unterschiedliche magnetische Flussdichten B und Windungszahlen N verschiedener Spulen gemessen und in der Auswertung einer aufgenommenen Kurve das Zeitintegral und damit der Spannungsstoß bestimmt um letztendlich das Faradaysche Induktionsgesetz zu bestätigen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 2 | Rundstabmagnete | 510 11 |
| 1 | Spule mit 250 Windungen | 562 13 |
| 1 | Spule mit 500 Windungen | 562 14 |

1 Spule mit 1000 Windungen 562 15
1 Paar Kabel, 100 cm, rot und blau 501 46
1 PC ab Windows 95/98/NT

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Eine Spule wird an Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen.

**Versuchsdurchführung**

a) Messung in Abhängigkeit vom magnetischen Fluss Φ

- Einstellungen laden
- Spule mit 250 Windungen an Eingang A anschließen
- Messung mit **F9** starten
- 1 Magnet bis zur Mitte eintauchen und wieder herausziehen
- Messung mit **F9** stoppen (oder nach 10 s automatisch)
- Messung mit **F9** starten und warten, bis die neue Messung soweit fortgeschritten ist, dass sie die alte Messung nicht mehr überdeckt
- 2 Magnete bis zur Mitte eintauchen und wieder herausziehen
- Messung mit **F9** stoppen (oder nach 10 s automatisch)

b) Messung in Abhängigkeit von der Windungszahl N

- Einstellungen laden
- Spule mit 250 Windungen an Eingang A anschließen
- Messung mit **F9** starten
- Magnet bis zur Mitte eintauchen und wieder herausziehen
- Messung mit **F9** stoppen (oder nach 10 s automatisch)
- Spule mit 500 Windungen an Eingang A anschließen
- Messung mit **F9** starten und warten, bis die neue Messung soweit fortgeschritten ist, dass sie die alte Messung nicht mehr überdeckt
- Magnet bis zur Mitte eintauchen und wieder herausziehen
- Messung mit **F9** stoppen (oder nach 10 s automatisch)
- Spule mit 1000 Windungen an Eingang A anschließen
- Messung mit **F9** starten und warten, bis die neue Messung soweit fortgeschritten ist, dass sie die alte Messung nicht mehr überdeckt
- Magnet bis zur Mitte eintauchen und wieder herausziehen
- Messung mit **F9** stoppen (oder nach 10 s automatisch)

**Auswertung**

In Versuchsteil a) lässt sich durch Integration leicht feststellen, dass die Spannungsstöße beim Eintauchen und Herausziehen des Magneten aus einer Spule sind betragsmäßig gleich groß sind, aber ein unterschiedliches Vorzeichen haben, also

$$\int_{\downarrow} U(t)\,\mathrm{d}t = -\int_{\uparrow} U(t)\,\mathrm{d}t.$$

Die Verwendung von 2 Magneten bestätigt zusätzlich eine Proportionalität zwischen den Spannungsstößen und der Anzahl der verwendeten Magnete bzw. der erzeugten Differenz des magnetischen Flusses

$$\int_1^2 U(t)\,\mathrm{d}t \sim \Phi_2 - \Phi_1 = \Delta\Phi.$$

Durch Differenzierung wird daraus das Faradaysche Induktionsgesetz

$$U = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$$

bestätigt.

Der magnetische Fluss durch eine Spule hängt auch von deren Windungszahl N ab, da jede einzelne Windung die Flussdifferenz $\Delta\Phi o$ sieht und der Gesamtfluss durch $\Delta\Phi = N \cdot \Delta\Phi o$ gegeben ist.

Betrachtet man nun in Versuchsteil b) die Abhängigkeit eines Spannungstoßes von der Windungszahl

N der verwendeten Spule, so lässt dieser Zusammenhang auch bestätigen. Dazu werden z. B. alle positiven Flächen bestimmt und zusammen mit der Windungszahl N in der Darstellung **Windungszahl** eingetragen (Tabellenzellen anklicken). Aus der Proportionalität folgt dann wieder

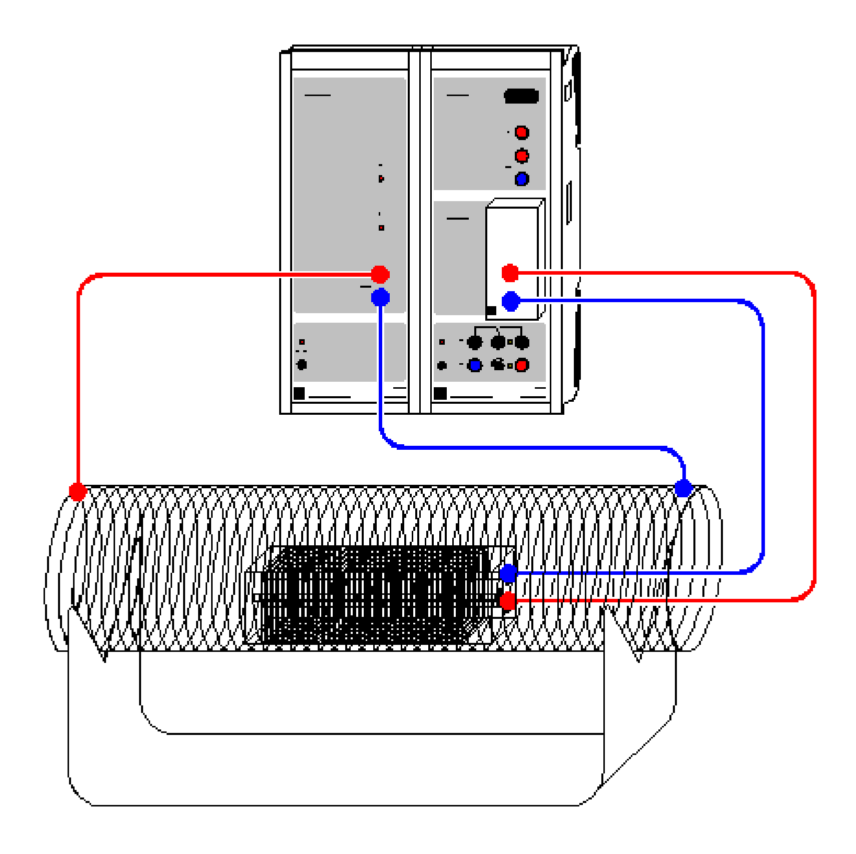
$$\int_1^2 U(t)\,\mathrm{d}t \sim N \cdot \Delta\Phi_0 = \Delta\Phi.$$

Die Steigung der Geraden in der Darstellung der Spannungsstöße gegen die Windungszahl entspricht dem magnetischen Fluss $\Phi_0$, der durch den Magneten in einer einzelnen Spulenwindung erzeugt wird.

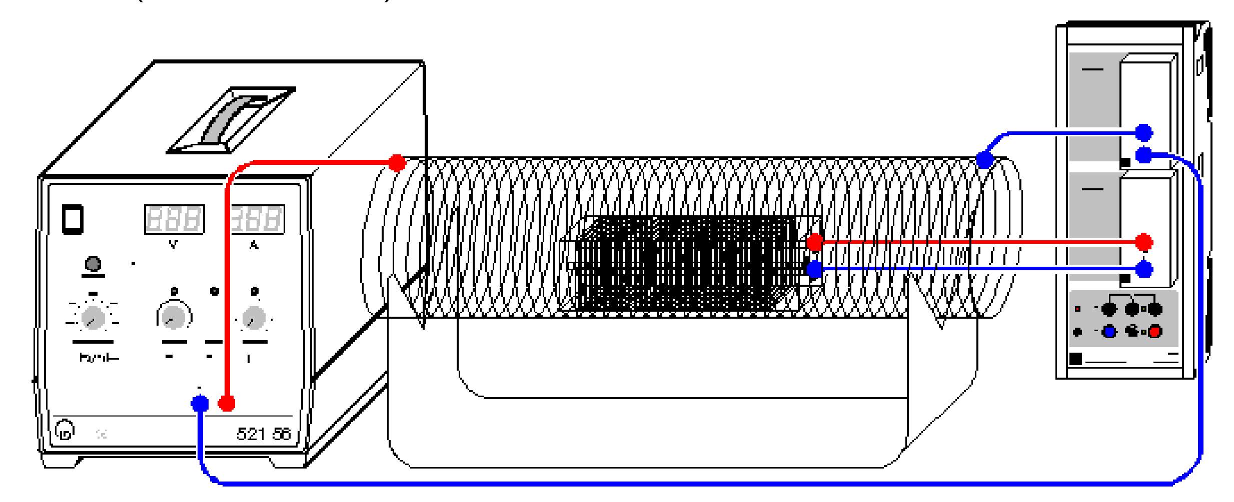
**Tipp zur Integration**

Zur Integration muss der Bereichsanfang gefunden werden, was nicht immer sofort gelingt, wenn mehrere Messkurven übereinander liegen. Einfacher geht es, wenn die Messung sofort nach dem Spannungsstoß mit **F9** gestoppt wird (nicht bis zum Ablauf der 10 s warten) und Integrale sofort nach der Messung berechnet werden. Wird dann bei der nächsten Messung mit dem Spannungsstoß bis nach Ende der vorherigen Messkurven gewartet, dann liegt keine Kurve während der Integration über einer anderen.

## Induktion durch ein veränderliches Magnetfeld



Alternativ (ohne Power-CASSY):




- Beispiel laden (mit Power-CASSY)
- Beispiel laden (ohne Power-CASSY)

### Versuchsbeschreibung

Spannungen und Ströme, die durch Veränderung von Magnetfeldern entstehen, nennt man Induktionsspannungen bzw. Induktionsströme, den Vorgang selbst magnetische Induktion. Befindet sich in einem Magnetfeld **B** eine Leiterschleife, so ist der sie durchsetzende magnetische Fluss durch das Leiterschleifenflächenintegral

$$\Phi = \int_A \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

gegeben. Handelt es sich anstelle der Leiterschleife um eine Spule mit N1 Windungen, die sich alle senkrecht zum Magnetfeld befinden, dann vergrößert sich $\Phi$ entsprechend zu

$$\Phi = B \cdot A \cdot N_1.$$

Ändert sich das Magnetfeld B nicht, dann bleibt auch der magnetische Fluss $\Phi$ konstant. Bei zeitlicher Änderung des Magnetfeldes und somit des magnetischen Flusses durch die Spulenfläche wird in der Spule eine Spannung und somit ein Strom induziert, deren Stärke und Richtung von der Art dieser Änderung abhängt. Es gilt das Faradaysche Induktionsgesetz

$$U = -\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}$$

und damit

$$U = -\frac{\mathrm{d}B}{\mathrm{d}t} \cdot A \cdot N_1.$$

Andererseits erzeugt ein elektrischer Strom ein Magnetfeld, z. B. wenn eine Spule von einem Strom I durchflossen wird. Für das Magnetfeld im Inneren einer großen Zylinderspule der Länge L und der Windungszahl N2 gilt

$$B = \mu_0 \frac{N_2}{L} I$$

mit µ0 = 4π·10^-7 Vs/Am (magnetische Feldkonstante).

Im Versuch wird eine große Zylinderspule als Feldspule von einem sich ändernden Strom I(t) durchflossen, durch den in ihrem Inneren ein sich änderndes Magnetfeld B(t) entsteht. In diese Feldspule werden rechteckige Induktionsspulen unterschiedlicher Flächen A und Windungszahlen N1 gebracht. In diesen Induktionsspulen wird eine Spannung U induziert, die sich folglich zu

$$U = -\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} \cdot \mu_0 \cdot A \cdot \frac{N_2}{L} \cdot N_1$$

berechnen lässt.

Im Versuch werden die Proportionalitäten zwischen der induzierten Spannung U und der zeitlichen Änderung dI/dt des Feldspulenstromes I, der Fläche A der Induktionsspulen sowie der Windungszahl N1 der Induktionsspulen bestätigt. Dafür besonders gut geeignet ist das Power-CASSY (524 011) oder das Dreieckstrom-Netzgerät (521 56), da der zeitliche Verlauf des Ausgangsstromes I so gesteuert werden kann, dass die Steigung | dI/dt | konstant ist. Außerdem stehen drei Induktionsspulen mit jeweils N1 = 300 Windungen zur Verfügung: Spule 1 mit dem Querschnitt A = 50 × 50 mm², Spule 2 mit A = 30 × 50 mm² und Spule 3 mit A = 20 × 50 mm². Außerdem hat Spule 1 zusätzliche Abgriffe bei N1 = 100 und N1 = 200 Windungen.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | Power-CASSY | 524 011 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | µV-Box | 524 040 |
| 1 | Feldspule d = 120 mm | 516 244 |
| 1 | Ständer für Rohre und Spulen | 516 249 |
| 1 | Satz Induktionsspulen | 516 241 |
| 2 | Experimentierkabel, 100 cm, rot | 501 30 |
| 2 | Experimentierkabel, 100 cm, blau | 501 31 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Alternativ (ohne Power-CASSY)**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | µV-Box | 524 040 |
| 1 | 30-A-Box | 524 043 |



| | | |
|---|---|---|
| 1 | Feldspule d = 120 mm | 516 244 |
| 1 | Ständer für Rohre und Spulen | 516 249 |
| 1 | Satz Induktionsspulen | 516 241 |
| 1 | Dreieckstrom-Netzgerät | 521 56 |
| 1 | Experimentierkabel, 50 cm, blau | 501 26 |
| 2 | Experimentierkabel, 100 cm, rot | 501 30 |
| 2 | Experimentierkabel, 100 cm, blau | 501 31 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Die große Spule wird mit konstantem | dI/dt | entweder vom Power-CASSY oder vom Dreieckstrom-Netzgerät versorgt. Im zweiten Fall muss der fließende Strom noch mit der 30-A-Box an Eingang A des Sensor-CASSYs gemessen werden. Die induzierte Spannung der Induktionsspulen wird mit der µV-Box auf Eingang B erfasst.

**Versuchsdurchführung**

a) Messung der Induktionsspannung U in Abhängigkeit von der Fläche A der Induktionsspulen
- ▢ Einstellungen laden
- Spule 1 (A = 0,0025 m², N1 = 300 Windungen) in große Feldspule legen und an µV-Box anschließen
- Messung mit **F9** durchführen
- Messung mit den Spulen 2 (A = 0,0015 m²) und 3 (A = 0,0010 m²) wiederholen

b) Messung der Induktionsspannung U in Abhängigkeit von der Anzahl N1 der Spulenwindungen
- ▢ Einstellungen laden
- Spule 1 (N1 = 100 Windungen) in der großen Feldspule an µV-Box anschließen
- Messung mit **F9** durchführen
- Messung mit N1 = 200 und N1 = 300 der Spule 1 wiederholen

c) Messung der Induktionsspannung U in Abhängigkeit von dI/dt
- ▢ Einstellungen laden
- Spule 1 (N1 = 300 Windungen) in der großen Feldspule an µV-Box anschließen
- Messung mit **F9** durchführen
- Messung mit verkleinertem maximalen Strom Imax bzw. dI/dt wiederholen; dazu den Zeiger des Anzeigeinstruments mit der Maus auf die gewünschte Position verschieben

**Alternativ (ohne Power-CASSY)**

a) Messung der Induktionsspannung U in Abhängigkeit von der Fläche A der Induktionsspulen
- ▢ Einstellungen laden
- Spule 1 (A = 0,0025 m², N1 = 300 Windungen) in große Feldspule legen und an µV-Box anschließen
- Spannungsstellknopf des Dreieckstrom-Netzgeräts auf Rechtsanschlag drehen, Stromstellknopf soweit aufdrehen, dass Leistungsbegrenzung (LED Pmax) gerade noch nicht aktiv ist
- Mittlere dI/dt-Einstellung wählen und Taster zum Einschalten des Dreieckstrommodus drücken
- Messung mit **F9** starten (Messwertaufnahme beginnt bei steigender Flanke der Induktionsspannung $U_{B1}$, evtl. Trigger abschalten)
- Nach einigen Stromperioden wieder mit **F9** stoppen
- Messung mit den Spulen 2 (A = 0,0015 m²) und 3 (A = 0,0010 m²) wiederholen

b) Messung der Induktionsspannung U in Abhängigkeit von der Anzahl N1 der Spulenwindungen
- ▢ Einstellungen laden
- Spule 1 (N1 = 100 Windungen) in der großen Feldspule an µV-Box anschließen
- Spannungsstellknopf des Dreieckstrom-Netzgeräts auf Rechtsanschlag drehen, Stromstellknopf soweit aufdrehen, dass Leistungsbegrenzung (LED Pmax) gerade noch nicht aktiv ist
- Mittlere dI/dt-Einstellung wählen und Taster zum Einschalten des Dreieckstrommodus drücken
- Messung mit **F9** starten (Messwertaufnahme beginnt bei steigender Flanke der Induktionsspannung $U_{B1}$, evtl. Trigger abschalten)
- Nach einigen Stromperioden wieder mit **F9** stoppen
- Messung mit N1 = 200 und N1 = 300 der Spule 1 wiederholen

c) Messung der Induktionsspannung U in Abhängigkeit von der Erregerfeldfrequenz

- Einstellungen laden
- Spule 1 (N1 = 300 Windungen) in der großen Feldspule an µV-Box anschließen
- Spannungsstellknopf des Dreieckstrom-Netzgeräts auf Rechtsanschlag drehen, Stromstellknopf soweit aufdrehen, dass Leistungsbegrenzung (LED Pmax) gerade noch nicht aktiv ist
- dI/dt = 0,2 A/s wählen und Taster zum Einschalten des Dreieckstrommodus drücken
- Messung mit **F9** starten (Messwertaufnahme beginnt bei steigender Flanke der Induktionsspannung $U_{B1}$, evtl. Trigger abschalten)
- Während der Messung dI/dt in Schritten von etwa 0,4 A/s erhöhen
- Messung wieder mit **F9** stoppen

### Auswertung

Je nach Versuchsteil kann nach der Messung in die passenden Darstellung (**Fläche**, **Windungszahl** oder **dI/dt** mit der Maus anklicken) gewechselt werden. Hier wird eine weitere Tabelle gefüllt, indem zum jeweiligen Parameter A, N1 oder dI/dt (über Tastatur in Tabelle eingeben, dI/dt kann durch eine Geradenanpassung bestimmt werden) die Induktionsspannung U ermittelt wird. Die Induktionsspannung U ergibt sich z. B. aus einer Mittelwertbildung. Sie kann danach mit der Maus aus der Statuszeile in die Tabelle gezogen werden (Drag & Drop). Bereits während der Tabelleneingabe entsteht das gewünschte Diagramm.

Alle drei Diagramme bestätigen die Proportionalitäten zwischen Induktionsspannung U und Fläche A, Windungszahl N1 sowie dI/dt.

Im Beispiel ergibt sich als Proportionalitätsfaktor U/A = 101 mV/m² (bzw. 129 mV/m² ohne Power-CASSY) zwischen der Induktionsspannung U und dem Spulenquerschnitt A. Die Theorie fordert den Proportionalitätsfaktor

$$\frac{U}{A} = -\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} \cdot \mu_0 \cdot \frac{N_2}{L} \cdot N_1 \ .$$

Zum Vergleich folgt aus den Windungszahlen N1 = 300 der Induktionsspule und N2 = 120 der Luftspule, aus der Länge L = 0,41 m der Luftspule, aus dem ermittelten Anstieg des Stroms dI/dt = 1,00 A/s (bzw. 1,19 A/s) und der magnetischen Feldkonstante µ0 = 4π·10^-7 Vs/Am der Proportionalitätsfaktor U/A = -110 mV/m² (bzw. -131 mV/m²), was sich mit dem experimentellen Ergebnis deckt. Das Vorzeichen hängt von den beiden Wicklungssinnen und dem Anschluss an die µV-Box ab.

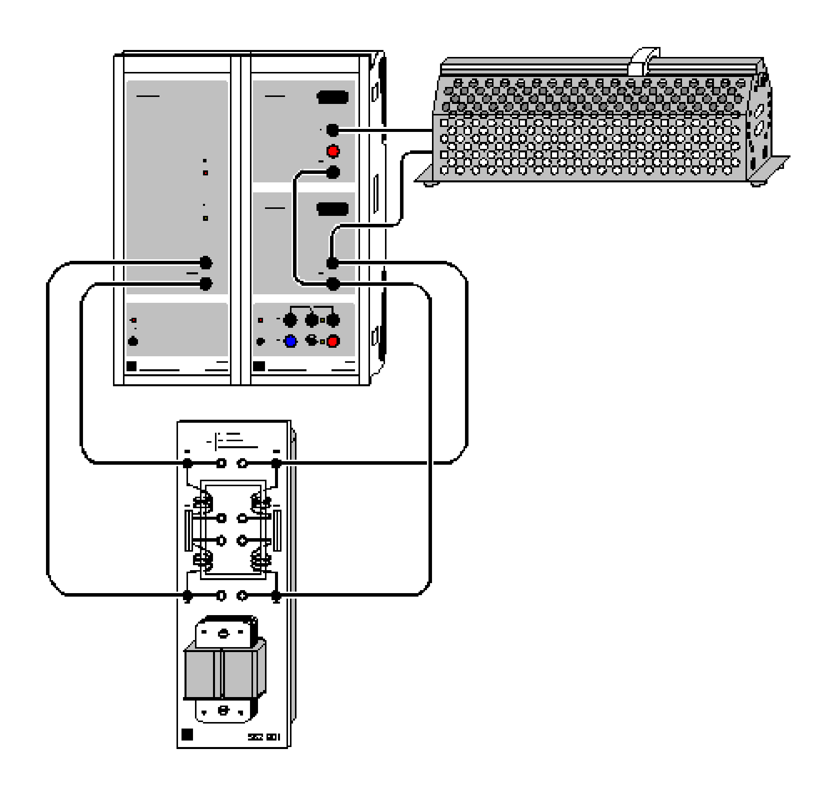
### Anmerkungen

Die µV-Box kann einen kleinen Offset haben, der in den Einstellungen UB durch **Korrigieren**, Sollwert 0 mV, **Offset korrigieren** behoben werden kann; dazu jedoch vorher den Stromkreis der Luftspule unterbrechen.

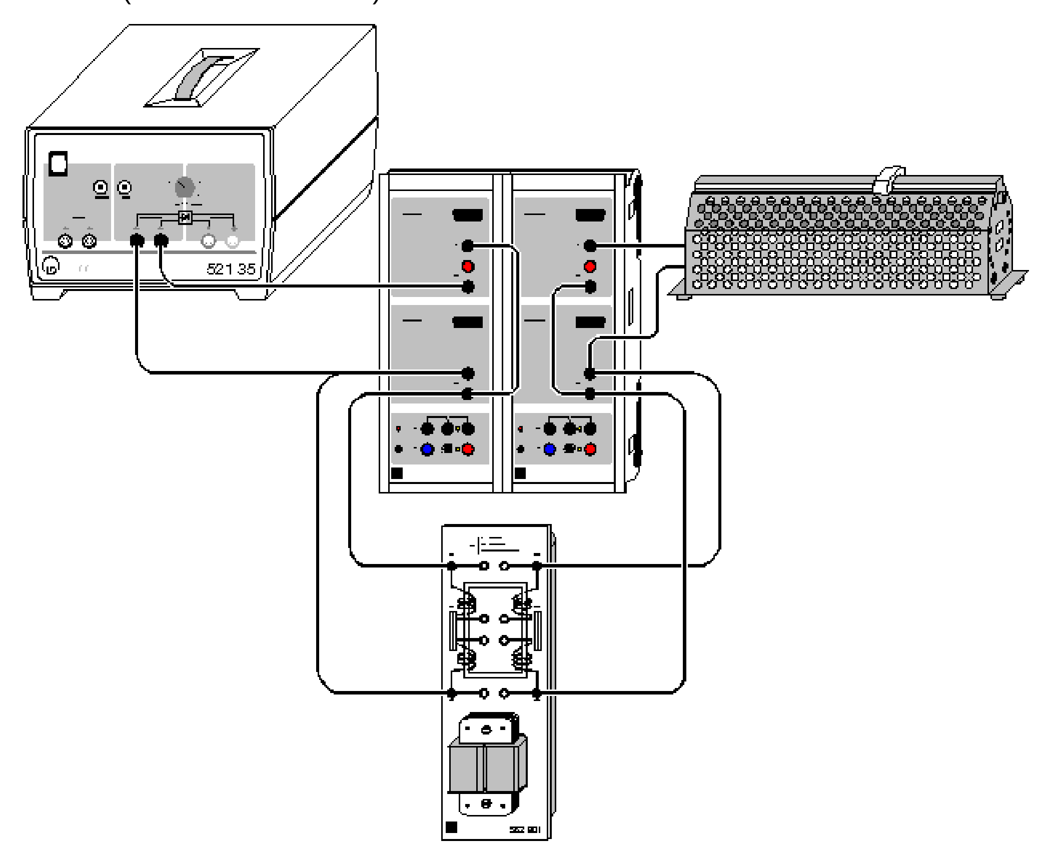
Das Power-CASSY kann auch eine deutlich höhere Frequenz ausgeben und damit die µV-Box überflüssig machen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Stromregelung des Power-CASSYs bei höheren Frequenzen und induktiven Lasten zu kleinen Überschwingern neigt, die sich jedoch in der induzierten Spannung (1. Ableitung des Stroms) unschön bemerkbar machen. Abhilfe schafft ein in Reihe geschalteter ohmscher Widerstand von etwa 10 Ω.



## Zeitabhängige Aufzeichnung von Spannung und Strom eines Transformators



Alternativ (ohne Power-CASSY):




- Beispiel laden (mit Power-CASSY)
- Beispiel laden (ohne Power-CASSY)

### Versuchsbeschreibung

Es werden Primär- und Sekundärspannung sowie Primär- und Sekundärstrom eines belasteten Transformators als zeitabhängige Größen erfasst. CASSY Lab ermittelt daraus unmittelbar die zeitabhängigen Leistungen im Primär- und Sekundärkreis sowie die Effektivwerte von Spannung und Strom, die Phasenbeziehungen und die Wirkleistungen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Power-CASSY | 524 011 |
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Übungstransformator | 562 801 |
| 1 | Schiebewiderstand 110 Ω | 537 24 |
| 1 | Kabel, 25 cm, schwarz | 500 414 |
| 5 | Kabel, 100 cm, schwarz | 500 444 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Alternativ (ohne Power-CASSY)

| | | |
|---|---|---|
| 2 | Sensor-CASSYs | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Kleinspannungs-Stelltrafo S | 521 35 |
| 1 | Übungstransformator | 562 801 |
| 1 | Schiebewiderstand 110 Ω | 537 24 |
| 2 | Kabel, 25 cm, schwarz | 500 414 |
| 8 | Kabel, 100 cm, schwarz | 500 444 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Die Primärseite des Transformators wird vom Power-CASSY bzw. vom Stelltrafo (ca. 6 V~) gespeist. Im zweiten Fall muss Primärspannung, Primärstrom und Phasenlage (cos φ) noch von einem zweiten Sensor-CASSY gemessen werden.

Auf der Sekundärseite übernimmt ein Sensor-CASSY die erforderlichen Messungen von Spannung, Strom und Phasenlage (cos φ). Der Transformator wird durch den Schiebewiderstand ohmsch (cos φ = 1) belastet. Bei Verfügbarkeit kann der Transformator aber auch induktiv oder kapazitiv (cos φ < 1) belastet werden. Die Härte des Transformators kann durch Parallelschaltung jeweils zweier Spulen auf Primär- und Sekundarseite des Übungstransformators erhöht werden.

Anstelle des Übungstransformators kann auch der zerlegbare Transformator verwendet werden.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden (mit Power-CASSY)
- Einstellungen laden (ohne Power-CASSY)
- Messung mit **F9** starten
- Last variieren (z. B. auch induktiv oder kapazitiv) und Rückwirkung auf Sekundarkreis und Primärkreis beobachten
- Härte variieren und Verhalten unter Last beobachten
- Evtl. Kurvenform oder Frequenz der Primärspannung in Einstellungen $U_1$ des Power-CASSYs verändern und Ergebnis beobachten
- Messung mit **F9** beenden

### Auswertung

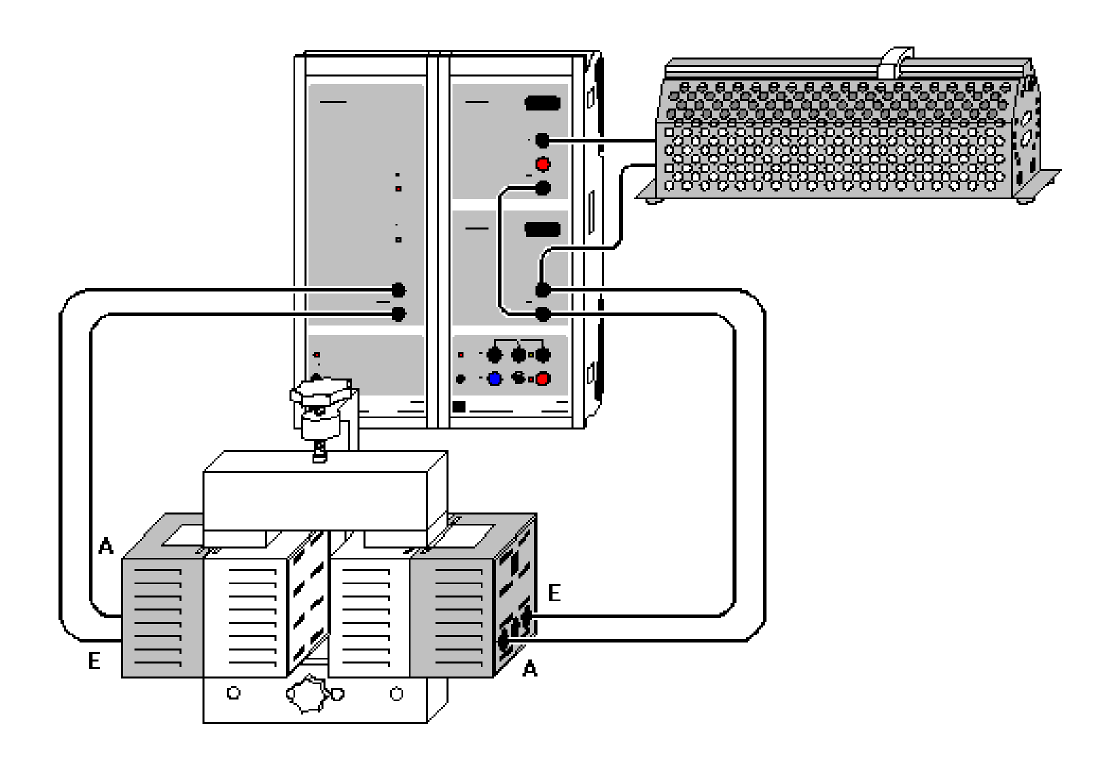
Während oder nach der Messung kann in die Darstellung **Leistung** (mit der Maus anklicken) gewechselt werden. Dort werden auch die beiden zeitabhängigen Leistungen dargestellt.

### Tipp

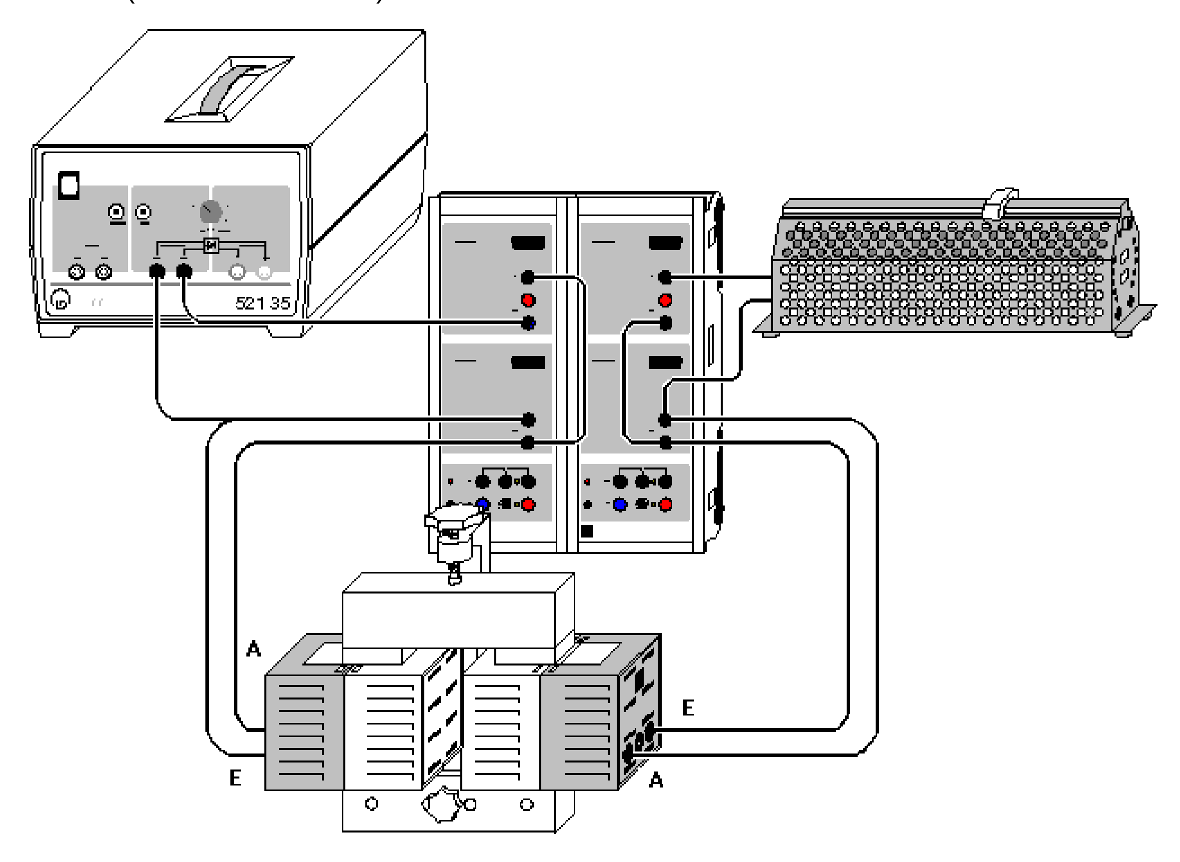
Die Messinstrumente lassen sich mit **F7** gleichzeitig ausblenden und wieder einblenden.



## Leistungsübertragung eines Transformators




Alternativ (ohne Power-CASSY):




- Beispiel laden (mit Power-CASSY)
- Beispiel laden (ohne Power-CASSY)

### Versuchsbeschreibung

Es wird die Leistungsübertragung eines Transformators untersucht. Dazu werden gleichzeitig die Effektivwerte von Primär- und Sekundärspannung sowie von Primär- und Sekundärstrom für einen variablen Lastwiderstand R = 0-110 Ω gemessen. Außerdem wird die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom auf der Primär- und Sekundärseite bestimmt. Zur Auswertung werden die Primärleistung $P_1$, die Sekundärleistung $P_2$ und der Wirkungsgrad $\eta = P_2/P_1$ berechnet und grafisch gegen den Lastwiderstand R aufgetragen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Power-CASSY | 524 011 |
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | U-Kern mit Joch | 562 11 |
| 1 | Spannvorrichtung | 562 12 |
| 2 | Spulen mit 250 Windungen | 562 13 |
| 1 | Schiebewiderstand 110 Ω | 537 24 |
| 1 | Kabel, 25 cm, schwarz | 500 414 |
| 5 | Kabel, 100 cm, schwarz | 500 444 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Alternativ (ohne Power-CASSY)

| | | |
|---|---|---|
| 2 | Sensor-CASSYs | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Kleinspannungs-Stelltrafo S | 521 35 |
| 1 | U-Kern mit Joch | 562 11 |
| 1 | Spannvorrichtung | 562 12 |
| 2 | Spulen mit 250 Windungen | 562 13 |
| 1 | Schiebewiderstand 110 Ω | 537 24 |
| 2 | Kabel, 25 cm, schwarz | 500 414 |
| 8 | Kabel, 100 cm, schwarz | 500 444 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Die Primärseite des Transformators wird vom Power-CASSY bzw. vom Stelltrafo (ca. 6 V~) gespeist. Im zweiten Fall muss Primärspannung, Primärstrom und Phasenlage (cos φ) noch von einem zweiten Sensor-CASSY gemessen werden.

Auf der Sekundärseite übernimmt ein Sensor-CASSY die erforderlichen Messungen der Effektivwerte von Spannung und Strom und deren Phasenlage (cos φ). Der Transformator wird durch den Schiebewiderstand ohmsch (cos φ = 1) belastet.

Anstelle des zerlegbaren Transformators kann auch der Übungstransformator verwendet werden.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden (mit Power-CASSY)
- Einstellungen laden (ohne Power-CASSY)
- Schiebewiderstand auf Minimum (etwa 0 Ω) einstellen
- Messung mit **F9** auslösen
- Widerstand in Stufen vergrößern und jeweils wieder Messwerte mit **F9** aufnehmen

### Auswertung

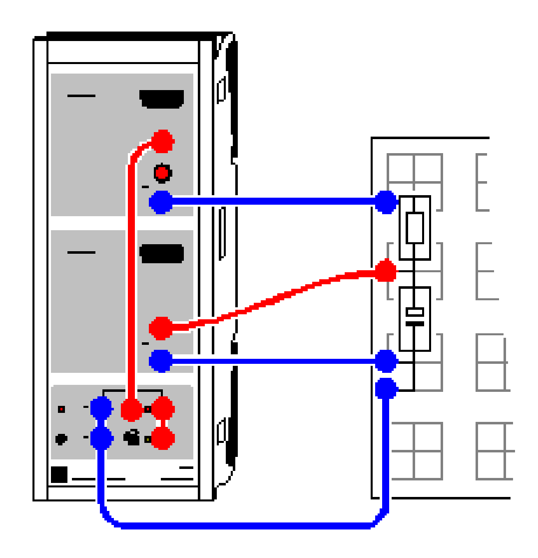
Die Punkte maximaler Leistungsabgabe und maximalen Wirkungsgrades lassen sich leicht im Diagramm ablesen.

### Tipp

Die Messinstrumente lassen sich mit **F7** gleichzeitig ausblenden und wieder einblenden.



## Auf- und Entladung eines Kondensators



❑ Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Ein Kondensator wird über einen Widerstand aufgeladen oder entladen. Es werden die Spannungsverläufe am Kondensator sowie der Lade- oder Entladestrom gemessen. Daraus kann die Zeitkonstante $\tau$ = RC bestimmt sowie der Energieinhalt des Kondensators berechnet werden.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Rastersteckplatte, DIN A4 | 576 74 |
| 3 | STE Kondensatoren 100 µF | 578 39 |
| 1 | STE Widerstand 100 Ω | 577 32 |
| 1 | Experimentierkabel, 50 cm, blau | 500 422 |
| 1 | Paar Kabel, 25 cm, rot und blau | 501 44 |
| 2 | Paar Kabel, 50 cm, rot und blau | 501 45 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Der Auf- und Entladestromkreis wird gemäß Skizze an die Eingänge A (Strom) und B (Spannung) des Sensor-CASSYs angeschlossen. Das Relais R lädt in Position EIN (LED an) den Kondensator mit der Spannung aus der Spannungsquelle S auf und entlädt den Kondensator in Position AUS (LED aus).

### Versuchsdurchführung

a) Entladung

❑ Einstellungen laden

- Ladespannung $U_{B1}$ am Kondensator auf etwa 9,5 V einstellen – dazu Drehknopf an Spannungsquelle S entsprechend einstellen
- Entladung mit **F9** starten
- Entladung mit unterschiedlichen Kapazitäten wiederholen (z. B. 200 µF und 300 µF)

b) Aufladung

- Relais manuell umschalten – dazu in Einstellungen Relais $R_1$ die Formel von **1** nach **0** ändern und Eingabetaste betätigen
- Aufladung mit **F9** starten
- Aufladung mit unterschiedlichen Kapazitäten wiederholen (z. B. 200 µF und 300 µF)

## Auswertung

Für die Bestimmung der Zeitkonstanten $\tau$ = RC können die Darstellungen **Spannung** und **Strom** (mit der Maus auswählen) logarithmiert werden. Dazu kann die y-Achse mit der rechten Maustaste angeklickt und umgerechnet werden. Zur besseren Darstellung sollten beim Logarithmieren die Minima manuell vorgegeben werden (z. B. -1 bei log U bzw. -3 bei log I). Die sich ergebene Steigung A einer Geradenanpassung ist in beiden Fällen A = -0,4343/RC.

Man kann die Kapazitäten C aber auch aus der zuführten oder abgeführten Ladung Q ermitteln. Die Ladung Q ergibt sich als Integral der I(t)-Diagramme und Q = CU (U ist Ladespannung).

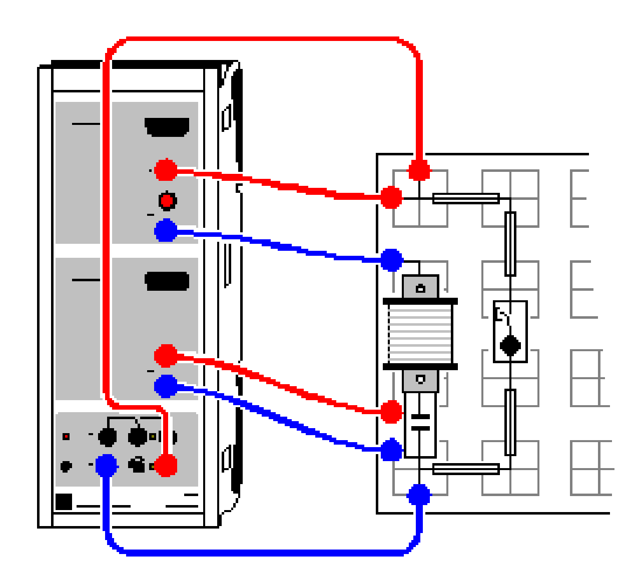
Die gespeicherte Energie E = ½CU² ist das Integral der P(t)-Diagramme in der Darstellung **Leistung**.

## Tipp

Einen definierten Zeitnullpunkt erreicht man am einfachsten über die Einstellung eines Triggers. Am besten eignet sich dazu der Strom $I_{A1}$ (bei Aufladung z. B. 0,05 A, steigende Flanke, bei Entladung z. B. –0,05 A, fallende Flanke)



## Gedämpfter Schwingkreis



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Ein elektrischer Schwingkreis wird angeregt und die freie Schwingung aufgezeichnet. Die Dämpfung und die Phasendifferenz zwischen U(t) und I(t) wird sichtbar. In der Auswertung werden die ermittelten Parameter Frequenz ω und Dämpfungsfaktor δ der Schwingung mit der Theorie verglichen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Rastersteckplatte, DIN A4 | 576 74 |
| 1 | STE Spule 1000 Windungen | 590 84 |
| 1 | STE Kondensator 1 µF, 5 % | 578 15 |
| 1 | Taster (Schließer) | 579 10 |
| 1 | Satz Brückenstecker | 501 48 |
| 3 | Paar Kabel, 50 cm, rot und blau | 501 45 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Der Schwingkreis wird gemäß Skizze auf der Rastersteckplatte aufgebaut. Der Strom fließt durch Eingang A des Sensor-CASSYs und die Kondensatorspannung wird an Eingang B gemessen. Zu Beginn der Experiments wird der Kondensator aus der Spannungsquelle S aufgeladen. Zum Start der Schwingung wird der Taster gedrückt, welcher dabei die Spannungsquelle S kurzschließt.

### Hinweis

Anstelle des Tasters könnte auch das Relais R verwendet werden. Dieses kann jedoch beim Schalten so stark prellen, dass in den ersten Millisekunden der Schwingung diese noch gestört wird.

### Versuchsdurchführung

Einstellungen laden

- Ladespannung $U_{B1}$ am Kondensator auf etwa 9,5 V einstellen – dazu Spannungsquelle S entsprechend einstellen
- Messung mit **F9** starten (wartet dann auf Triggersignal)
- Schwingkreis mit Taster schließen (erzeugt Triggersignal)

**Auswertung**

Die Frequenz f der Schwingung lässt sich am leichtesten im **Frequenzspektrum** ermitteln (Darstellung anklicken und Peakschwerpunkt berechnen). Die Anfangsamplitude und die Zeitkonstante der Dämpfung ergibt sich aus den Parametern A und B der Anpassung einer Einhüllenden.

Mit diesen Parametern lässt sich eindrucksvoll Übereinstimmung von U(t) mit y(t) = A*exp(-t/B)*sin(f*t*360) zeigen. Dazu müssen die Parameter A, B und f in den Einstellungen der Formel y geändert und die Darstellung **Anpassung** gewählt werden.

**Beispiel**

Das Versuchsbeispiel liefert aus der U(t)-Einhüllenden die Anfangsamplitude A = 6,64 V und die Zeitkonstante B = 1,77 ms. Die Schwingungsfrequenz wird zu 1235 Hz ermittelt. Die Funktion der Schwingung lautet daher

y(t) = 6,64*exp(-t/0,00177)*sin(1235*t*360)

und ist als Funktion der Anpassung an U(t) eingegeben. Für I(t) gelten die gleiche Zeitkonstante und Frequenz aber eine andere Anfangsamplitude und Phasenlage.

Aus den ermittelten Parametern lassen sich auch Rückschlüsse auf die Parameter R, L und C des Schwingkreises schließen, da im gedämpften Schwingkreis gilt:

$U(t) = U0 \exp(-\delta t) \sin(\omega t)$ mit

(1) $\omega^2 = \omega 0^2 - \delta^2$,
(2) $\omega 0^2 = 1/LC$ und
(3) $\delta = R/2L$ (= 1/B der Einhüllenden).

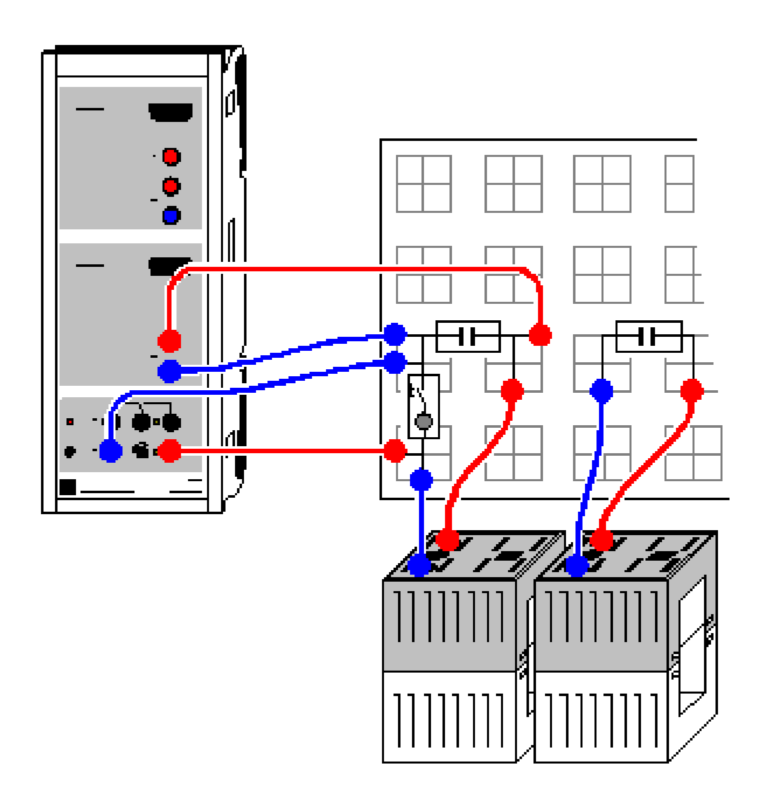
Die ermittelten Werte eingesetzt liefert dann:

$\omega = 2\pi f = 7760$ /s
$\delta = 565$ /s
$\omega 0 = 7781$ /s aus (1).

Aus (2) lässt sich nun die Induktivität L der Spule berechnen, wenn die Kapazität C bekannt ist. Im Beispiel folgt L = 0,0165 H (mit C = 1 µF). Aus (3) folgt nun der Dämpfungswiderstand R = 18,6 Ω. Dies deckt sich gut mit der Spezifikation der verwendeten Spule (R = 18 Ω).



## Gekoppelte Schwingkreise



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es wird das Frequenzspektrum gekoppelter elektrischer Schwingkreise mit dem Spektrum eines ungekoppelten Schwingkreises verglichen. Das fouriertransformierte Signal der gekoppelten Schwingkreise zeigt die Aufspaltung in zwei symmetrisch um das ungekoppelte Signal liegende Verteilungen, deren Abstand von der Kopplung der Schwingkreise abhängt.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Rastersteckplatte, DIN A4 | 576 74 |
| 1 | Taster | 579 10 |
| 2 | STE Kondensatoren 1 µF, 5 % | 578 15 |
| 2 | Spulen mit 500 Windungen | 562 14 |
| 4 | Paar Kabel, 50 cm, rot und blau | 501 45 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Der erste Schwingkreis wird gemäß Skizze aufgebaut. Die Kondensatorspannung wird an Eingang B des Sensor-CASSYs gemessen. Zu Beginn der Experiments wird der Kondensator aus der Spannungsquelle S aufgeladen. Zum Start der Schwingung wird der Taster gedrückt, welcher dabei die Spannungsquelle S kurzschließt.

Der zweite Schwingkreis wird separat aufgebaut. Seine Spule wird für die Kopplung der Schwingkreise direkt neben die erste Spule gestellt.

### Hinweis

Anstelle des Tasters könnte auch das Relais R verwendet werden. Dieses kann jedoch beim Schalten so stark prellen, dass in den ersten Millisekunden der Schwingung diese noch gestört wird.





**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Ladespannung $U_{B1}$ am Kondensator auf etwa 9,5 V einstellen – dazu Spannungsquelle S entsprechend einstellen
- Messung mit **F9** starten (wartet dann auf Triggersignal)
- Schwingkreis mit Taster schließen (erzeugt Triggersignal)
- Spule des zweiten Schwingkreises zur Kopplung direkt neben die erste Spule stellen
- Messung mit **F9** starten (wartet dann auf Triggersignal)
- Schwingkreis mit Taster schließen (erzeugt Triggersignal)

**Auswertung**

Im ungekoppelten Fall ergibt sich eine gedämpfte harmonische Schwingung. Die gekoppelte Schwingung ist eine Schwebung mit der gleichen Einhüllenden und der gleichen Schwingungsfrequenz.

Im ungekoppelten Fall zeigt das **Frequenzspektrum** nur einen Peak, dessen Frequenz sich durch die Berechnung des Peakschwerpunkts ermitteln lässt.

Im gekoppelten Fall spaltet die Frequenz symmetrisch in zwei Frequenzen auf. Die Amplituden sind nur halb so groß wie im ungekoppelten Fall und der Abstand hängt von der Kopplung ab.

Ausgehend von den Differenzialgleichungen der gekoppelten Schwingkreise

$$\begin{aligned} L\ddot{I}_1 + kL\ddot{I}_2 + I_1/C &= 0 \\ L\ddot{I}_2 + kL\ddot{I}_1 + I_2/C &= 0 \end{aligned}$$

mit Kopplung k ($0 \le k < 1$) folgen die beiden Eigenfrequenzen $\omega_1$ und $\omega_2$ zu

$$\frac{\omega_0}{\sqrt{1+k}} = \omega_1 < \omega_0 < \omega_2 = \frac{\omega_0}{\sqrt{1-k}}.$$

Insbesondere ist die Schwingungsfrequenz des gekoppelten Systems gleich

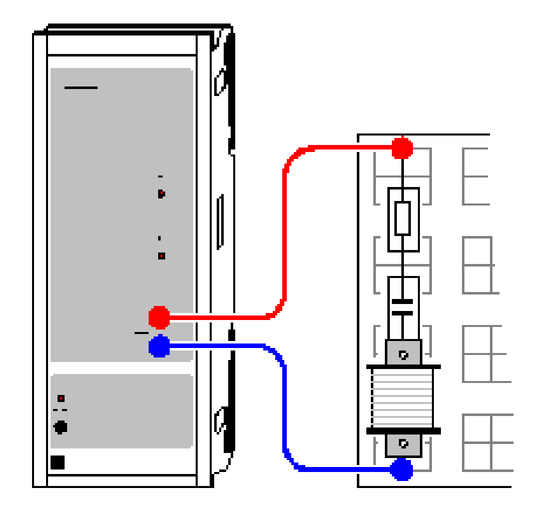
$$\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} = \frac{\omega_0}{\sqrt{1-k^2}} \approx \omega_0$$

und damit praktisch unverändert gegenüber dem ungekoppelten System (für kleine k).

**Hinweis**

Die Aufspaltung in zwei exakt gleich große Peaks gelingt nur bei genau gleichen Schwingkreisen. Durch Toleranzen der Induktivitäten L und der Kapazitäten C ist das nicht immer genau gegeben.

## Erzwungene Schwingungen (Resonanz)



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Einem elektrischen RLC-Serienschwingkreis wird eine Sinusschwingung der Frequenz f mit konstanter Amplitude aufgeprägt. Dabei stellt sich nach einer kurzen Einschwingzeit im Schwingkreis ebenfalls eine Schwingung der Frequenz f ein.

Untersucht wird der Effektivwert des fließenden Stroms I und die Phasenlage φ des Stroms zur aufgeprägten Spannung in Abhängigkeit von der Frequenz f und dem ohmschen Dämpfungswiderstand R. Die Ortskurven veranschaulichen die Addition komplexer Widerstände.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Power-CASSY | 524 011 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Rastersteckplatte DIN A4 | 576 74 |
| 1 | STE Spule 500 Windungen | 590 83 |
| 1 | STE Kondensator 4,7 µF, 5 % | 578 16 |
| 2 | STE Widerstände 1 Ω | 577 19 |
| 1 | STE Widerstand 5,1 Ω | 577 21 |
| 1 | STE Widerstand 10 Ω | 577 20 |
| 1 | STE Widerstand 20 Ω | 577 23 |
| 1 | STE Widerstand 47 Ω | 577 28 |
| 1 | Paar Kabel, 50 cm, rot und blau | 501 45 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Der Schwingkreis wird entsprechend der Skizze an das Power-CASSY angeschlossen. Bei Bedarf werden zusätzliche Dämpfungswiderstände in Serie geschaltet.

### Versuchsdurchführung

Einstellungen laden

- Messung mit **F9** starten. Es wird die Frequenz f automatisch in kleinen Schritten erhöht. Nach einer kurzen Einschwingzeit werden jeweils der Effektivwert des Stroms I sowie die Phasenlage cos φ zwischen Spannung und Strom gemessen und dargestellt.
  Die Schrittweite ist variabel und richtet sich nach den Vorgaben für die Anzahl $n_0$, die Startfrequenz $f_0$ und die ungefähre Resonanzfrequenz $f_1$. Zwischen den beiden Frequenzen $f_0$ und $f_1$ werden $n_0$ Messwerte aufgenommen. Danach wird die Frequenz f noch weiter erhöht und zwar so, dass um $f=f_1$, also in der Nähe der Resonanzfrequenz, die Werte besonders dicht aufgenommen

werden. Dadurch reduziert sich die erforderliche Messzeit erheblich im Vergleich zu äquidistanten Frequenzschritten. Die Vorgaben können durch Schieben der Zeiger mit der Maus oder durch Ändern des Parameterwertes nach Anklicken mit der rechten Maustaste geändert werden.
Die Messbedingung **f < 5*f1 and f < 5000 and delta t > 2/f+2** erlaubt die Messwertaufnahme bis 5 kHz (oder der 5-fachen Resonanzfrequenz), aber frühestens nach 2/f+2 s nach einer Frequenzerhöhung (Einschwingzeit).

- Messung mit **F9** bei Erreichen der gewünschten Frequenz stoppen.
- Messung bei Bedarf mit anderen Dämpfungswiderständen wiederholen.

**Auswertung**

Zur exakten Bestimmung der Resonanzfrequenz des Schwingkreises eignet sich beispielsweise die Bestimmung des Peakschwerpunkts in der Darstellung **Resonanz**.

In weiteren Darstellungen werden auch die **Leistung** und die **Phase** über der Frequenz dargestellt. Da vom CASSY nur der cos φ gemessen wird, muss für die Darstellung der Phase φ zusätzlich zum arccos auch noch das Vorzeichen von φ ermittelt werden. Normalerweise geschieht dies automatisch durch eine interne Monotoniebetrachtung von φ. In wenigen Fällen kann dies jedoch fehlschlagen. Dann hilft i. A. ein Verkleinern der vorgegebenen Anzahl $n_0$ gefolgt von einer neuen Messung.

Die beiden letzten Darstellungen zeigen die **Ortskurven** für den komplexen Widerstand Z des Schwingkreises sowie für den komplexen Leitwert Y. In der Z-Darstellung lässt sich sehr schön die Addition komplexer Widerstände in der Serienschaltung ablesen: Z = R + iωL + 1/iωC. Da im Beispiel für jeden Dämpfungswiderstand nur die Frequenz ω, und damit der Imaginärteil von Z variiert wird, bleibt der reelle ohmsche Teil konstant. In der komplexen Zahlenebene entstehen somit senkrechte Geraden, deren Abstand von der imaginären Achse gerade dem ohmsche Widerstand R entspricht. Da im Beispiel die Spule einen ohmschen Innenwiderstand von etwa 4 Ω besitzt, ist auch der Abstand von der imaginären Achse um etwa 4 Ω größer als der jeweilige Dämpfungswiderstand.

**Anmerkung**

Für einen Wechselstromkreis kann man schreiben

U = |U| * e^iωt   und   I = |I| * e^i(ωt+φ)

wobei der komplexe Widerstand Z = U/I nicht mehr von t abhängt

Z = |U|/|I| * e^-iφ = |Z| * e^-iφ   (Z-Ortskurve)

Umgekehrt gilt

Y = 1/Z = 1/|Z| * e^iφ   (Y-Ortskurve)

Die Y-Ortskurve entspricht der komplexen Inversion der Z-Ortskurve (r -> -r, φ -> -φ). Durch diese Transformation entstehen aus den Geraden Z = R + iωL + 1/iωC der Z-Ortskurven in der Y-Darstellung Kreise (Spiegelung am Einheitskreis).

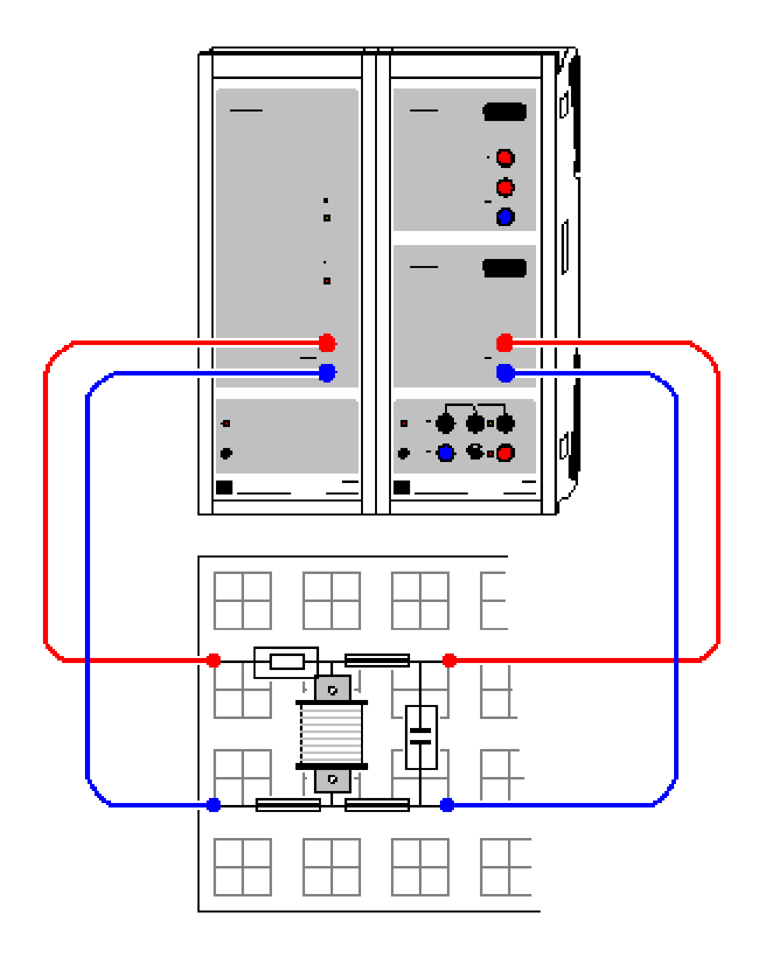
**Tipps**

Die Messinstrumente lassen sich mit **F7** gleichzeitig ausblenden und wieder einblenden.

Eine einfache Logarithmierung der Frequenz- oder der Stromachse lässt sich nach Anklicken der entsprechenden Achse mit der rechten Maustaste erreichen.



## RLC-Filter (Tiefpass, Hochpass, Bandpass)



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Einem elektrischen Filter aus Widerstand und Kondensator (RC), Widerstand und Spule (RL) oder einem Widerstand und einem LC-Parallelschwingkreis (RLC) wird eine Sinusschwingung der Frequenz f mit konstanter Amplitude aufgeprägt. Dabei stellt sich nach einer kurzen Einschwingzeit am Ausgang des Filters ebenfalls eine Schwingung der Frequenz f ein.

Untersucht werden die Effektivwerte der Ausgangsspannung U und des fließenden Stroms I, die Wechselstromwiderstände $Z1 = 1/(1/i\omega C + i\omega L)$ (nur LC) und $Z = R + 1/(1/i\omega C + i\omega L)$ (R mit LC) und die Phasenlage $\varphi$ zwischen Strom und aufgeprägter Spannung in Abhängigkeit von der Frequenz f.

Dabei lässt sich sehr schön die Wirkung eines Tiefpasses (RC), Hochpasses (RL) und Bandpasses (RLC) zeigen, sowie die Wechselstromwiderstände, Phasenverschiebungen und die Parallelresonanz am RLC-Filter diskutieren. Die Ortskurven veranschaulichen die Addition komplexer Widerstände.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | Power-CASSY | 524 011 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Rastersteckplatte DIN A4 | 576 74 |
| 1 | STE Widerstand 100 Ω | 577 32 |
| 1 | STE Spule 500 Windungen | 590 83 |
| 1 | STE Kondensator 4,7 µF, 5 % | 578 16 |
| 2 | Paar Kabel, 50 cm, rot und blau | 501 45 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Das elektrische Filter wird entsprechend der Skizze an das Power-CASSY und das Sensor-CASSY angeschlossen. Während des Versuchs kann die Art des Filters (RC, RL oder RLC) durch Ausstecken oder Einstecken der Spule (L) oder des Kondensators (C) variiert werden.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- RC-Filter durch Herausnehmen der Spule realisieren.
- Messung mit **F9** starten. Es wird die Frequenz f automatisch in kleinen Schritten erhöht. Nach einer kurzen Einschwingzeit werden jeweils die Effektivwerte der Ausgangsspannung U und des Stroms I gemessen und dargestellt.
  Die Schrittweite ist variabel und richtet sich nach den Vorgaben für die Anzahl $n_0$, die Startfrequenz $f_0$ und die ungefähre Resonanzfrequenz $f_1$. Zwischen den beiden Frequenzen $f_0$ und $f_1$ werden $n_0$ Messwerte aufgenommen. Danach wird die Frequenz f noch weiter erhöht und zwar so, dass um $f=f_1$, also in der Nähe der Resonanzfrequenz, die Werte besonders dicht aufgenommen werden. Dadurch reduziert sich die erforderliche Messzeit erheblich im Vergleich zu äquidistanten Frequenzschritten. Die Vorgaben können durch Schieben der Zeiger mit der Maus oder durch Ändern des Parameterwertes nach Anklicken mit der rechten Maustaste geändert werden.
  Die Messbedingung **f < 5*f1 and f < 5000 and delta t > 2/f+3** erlaubt die Messwertaufnahme bis 5 kHz (oder der 5-fachen Resonanzfrequenz), aber frühestens nach 2/f+3 s nach einer Frequenzerhöhung (Einschwingzeit).
- Messung mit **F9** bei Erreichen der gewünschten Frequenz stoppen.
- Messung mit RL- und RLC-Filter wiederholen.

**Auswertung**

Die Darstellungen **Ausgangsspannung** und **Strom** (mit der Maus anklicken) zeigen die Verläufe der Ausgangsspannung und des fließenden Stroms in Abhängigkeit von der Frequenz. Das RC-Filter dämpft die Ausgangsspannung bei hohen Frequenzen pro Oktave (Frequenzverdopplung) um etwa die Hälfte (Tiefpass). Das RL-Filter dagegen dämpft die niedrigen Frequenzen pro Oktave (Frequenzhalbierung) um etwa die Hälfte (Hochpass). Das RLC-Filter dämpft außerhalb der Resonanzfrequenz des LC-Parallelschwingkreises entsprechend der einzelnen Filter. Im Resonanzbereich hat die Ausgangsspannung aber ein ausgeprägtes Maximum (Bandpass). Die Resonanzfrequenz in von R unabhängig.

Außerdem werden die beiden Wechselstromwiderstände Z1 (nur LC) sowie Z (R mit LC) berechnet und dargestellt. Der Widerstand des LC-Parallelschwingkreises ist bei seiner Resonanzfrequenz maximal (im Idealfall wäre er sogar unendlich). Der fließende Strom wird daher minimal und damit auch der Spannungsabfall am Widerstand. Deshalb ist die Ausgangsspannung im Resonanzfall maximal.

Die Darstellung **Phase** zeigt dann die Phasenverschiebung zwischen aufgeprägter Spannung und fließendem Strom. Da vom CASSY nur der cos $\varphi$ gemessen wird, muss für die Darstellung der Phase $\varphi$ zusätzlich zum arccos auch noch das Vorzeichen von $\varphi$ ermittelt werden. Normalerweise geschieht dies automatisch durch eine interne Monotoniebetrachtung von $\varphi$. In wenigen Fällen kann dies jedoch fehlschlagen. Dann hilft i.A. ein Verkleinern der vorgegebenen Anzahl $n_0$ gefolgt von einer neuen Messung.

Die beiden letzten Darstellungen zeigen die **Ortskurven** für den komplexen Widerstand Z des Filters sowie für den komplexen Leitwert Y. In der Z-Darstellung lässt sich sehr schön die Addition komplexer Widerstände in der Serienschaltung ablesen. Beim Tiefpass gilt $Z = R + 1/i\omega C$ und beim Hochpass gilt $Z = R + i\omega L$. Da nur die Frequenz $\omega$, und damit der Imaginärteil von Z variiert wird, bleibt der reelle ohmsche Teil konstant. In der komplexen Zahlenebene entstehen somit senkrechte Geraden, deren Abstand von der imaginären Achse gerade dem ohmsche Widerstand R entspricht. Da im Beispiel die Spule einen ohmschen Innenwiderstand von etwa 4 Ω besitzt, ist beim Hochpass auch der Abstand von der imaginären Achse um etwa 4 Ω größer als beim Tiefpass.

**Anmerkung**

Für einen Wechselstromkreis kann man schreiben

U = |U| * e^iωt   und   I = |I| * e^i(ωt+φ)

wobei der komplexe Widerstand Z = U/I nicht mehr von t abhängt

$Z = |U|/|I| * e^{-i\varphi} = |Z| * e^{-i\varphi}$ (Z-Ortskurve)

Umgekehrt gilt

$Y = 1/Z = 1/|Z| * e^{i\varphi}$ (Y-Ortskurve)

Die Y-Ortskurve entspricht der komplexen Inversion der Z-Ortskurve ($r \to -r$, $\varphi \to -\varphi$). Durch diese Transformation entstehen aus den Geraden $Z = R + 1/i\omega C$ und $Z = R + i\omega L$ der Z-Ortskurven in der Y-Darstellung Halbkreise (Spiegelung am Einheitskreis).

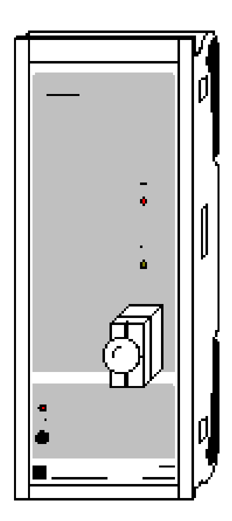
**Tipps**

Die Messinstrumente lassen sich mit **F7** gleichzeitig ausblenden und wieder einblenden.

Eine einfache Logarithmierung der Koordinatenachsen lässt sich nach Anklicken der entsprechenden Achse mit der rechten Maustaste erreichen.

Die Dämpfungen von 6 dB/Oktave (bzw. 20 dB/Dekade) lassen sich in einer doppelt logarithmierten Darstellung einfach als Steigung ±1 ablesen.

## Kennlinie einer Glühlampe



- Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Bei einer Glühlampe verlaufen Spannung und Strom nicht proportional zueinander. Ihr Widerstand hängt stark von der Temperatur ab. Da sich eine Glühlampe bei Stromzufuhr erwärmt, werden beim Ein- und Ausschalten des Stromes unterschiedliche Kennlinien durchfahren. Außerdem hängt die Kennlinie von der Anstiegsgeschwindigkeit dU/dt der Spannung ab.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Power-CASSY | 524 011 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Satz 10 Glühlampen; 12 V/3 W | 505 08 |
| 1 | STE Schraubfassung E10, oben | 579 06 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Die Glühlampe kann direkt auf das Power-CASSY aufgesteckt werden.

### Versuchsdurchführung

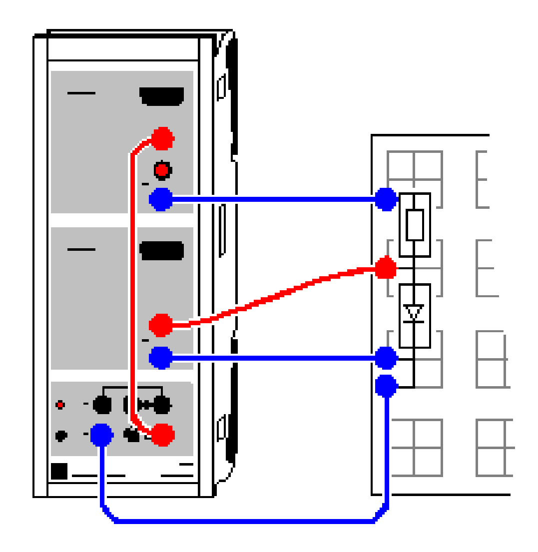
- Einstellungen laden
- Messung mit **F9** durchführen (Glühlampe wird ein- und wieder ausgeschaltet)
- Evtl. Schaltfrequenz der Glühlampe in Einstellungen $U_1$ sowie Messzeit im Messparameter-Fenster ändern und Versuch wiederholen

### Auswertung

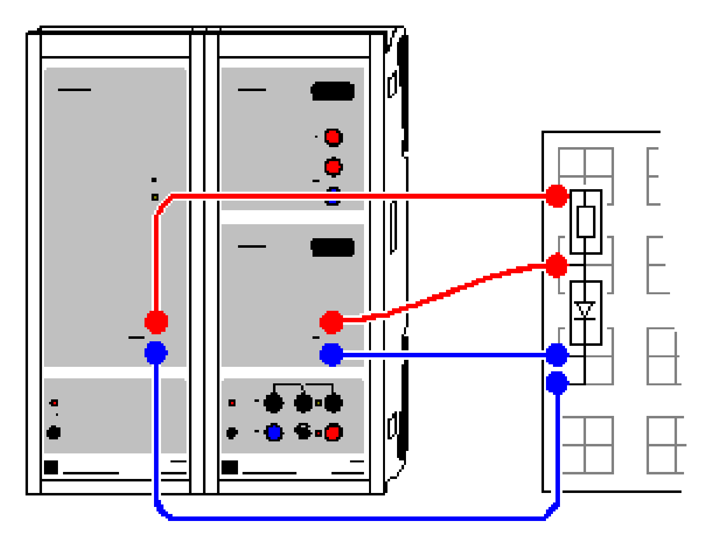
In der Kennlinie lassen sich die Kehrwerte von Kalt- und Heißwiderstand der Glühlampe durch Geradenanpassungen ermitteln.



## Kennlinie einer Diode



Alternativ (mit Power-CASSY):



- Beispiel laden (ohne Power-CASSY)
- Beispiel laden (mit Power-CASSY)

### Versuchsbeschreibung

Zu den einfachsten Halbleiter-Bauelementen gehören die Halbleiter-Dioden. Sie enthalten einen Halbleiter-Kristall, in dem ein n-leitendes und ein p-leitendes Gebiet aneinandergrenzt. Durch Rekombination der Ladungsträger, also der Elektronen aus dem n-leitenden und der Löcher aus dem p-leitenden Gebiet, entsteht in der Grenzschicht eine Zone geringer Leitfähigkeit. Sie wird vergrößert, wenn ein äußeres elektrisches Feld die Elektronen bzw. Löcher aus der Grenzschicht zieht. Diese Richtung des elektrischen Feldes wird als Sperrrichtung bezeichnet. Bei umgekehrtem elektrischen Feld werden Elektronen bzw. Löcher in die Grenzschicht getrieben und erleichtern den Stromdurchgang durch die Diode.

Im Versuch werden Strom-Spannungs-Kennlinien verschiedener Dioden (Si-, Ge- und Leuchtdioden) aufgezeichnet und miteinander verglichen.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Rastersteckplatte DIN A4 | 576 74 |
| 1 | STE Widerstand 100 Ω | 577 32 |
| 1 | STE Si-Diode 1N4007 | 578 51 |
| 1 | STE Ge-Diode AA118 | 578 50 |
| 1 | STE-Leuchtdiode grün | 578 57 |
| 1 | STE-Leuchtdiode gelb | 578 47 |
| 1 | STE-Leuchtdiode rot | 578 48 |
| 1 | STE-Leuchtdiode infrarot | 578 49 |
| 1 | Experimentierkabel, 50 cm, blau | 500 422 |
| 2 | Paar Kabel, 50 cm, rot und blau | 501 45 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Alternativ (mit Power-CASSY)**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | Power-CASSY | 524 011 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Rastersteckplatte DIN A4 | 576 74 |
| 1 | STE Widerstand 100 Ω | 577 32 |
| 1 | STE Si-Diode 1N4007 | 578 51 |
| 1 | STE Ge-Diode AA118 | 578 50 |
| 1 | STE-Leuchtdiode grün | 578 57 |
| 1 | STE-Leuchtdiode gelb | 578 47 |
| 1 | STE-Leuchtdiode rot | 578 48 |
| 1 | STE-Leuchtdiode infrarot | 578 49 |
| 2 | Paar Kabel, 50 cm, rot und blau | 501 45 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Der Stromkreis wird gemäß Skizze an die Eingänge A (Strom) und B (Spannung über der Diode) des Sensor-CASSYs angeschlossen. Die Diode wird von einem Vorwiderstand von 100 Ω geschützt.

Bei Verwendung des Power-CASSYs wird dieses zur Spannungsversorgung der Schaltung und zur Strommessung links neben das Sensor-CASSY gesteckt.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden (ohne Power-CASSY)
- Spannungsquelle S umpolen (für negativen Kennlinienteil) und Spannung $U_{B1}$ auf etwa –3 V einstellen
- Messung mit **F9** starten
- Spannung langsam bis Null drehen (links herum, gleichzeitig wird negativer Kennlinienteil aufgezeichnet)
- Spannungsquelle S wieder vorzeichenrichtig anschließen (für positiven Kennlinienteil)
- Spannung langsam erhöhen (gleichzeitig wird positiver Kennlinienteil aufgezeichnet) – dabei Maximalstrom der Leuchtdioden nicht überschreiten
- Messung wieder mit **F9** stoppen
- Messung mit anderer Diode wiederholen – dazu Spannungsquelle S wieder umpolen und Messung mit **F9** starten

**Alternativ (mit Power-CASSY)**

- Einstellungen laden (mit Power-CASSY)
- für jede Diode die Kennlinie mit **F9** aufnehmen (das Power-CASSY fährt die Spannung automatisch durch)

**Auswertung**

Bei negativen Spannungen ist der Strom unabhängig von der anliegenden Spannung gleich Null (Sperrrichtung). Bei positiven Spannung tritt ab einer Durchlassspannung U ein Strom auf (Durchlassrichtung).

Es lassen sich die Durchlassspannungen U der verschiedenen Dioden miteinander vergleichen. Bei den Leuchtdioden kann gemäß

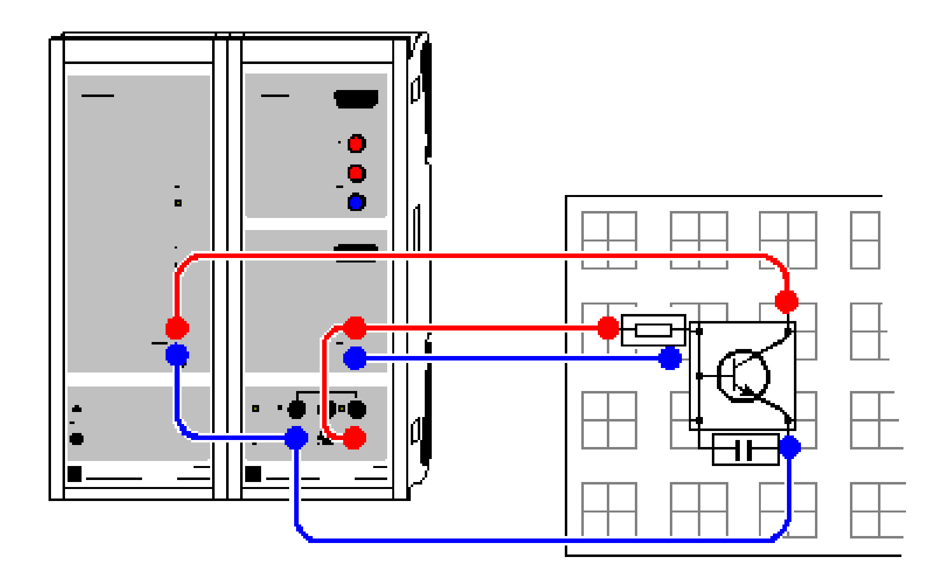
$e \cdot U = h \cdot c/\lambda$

die Wellenlänge $\lambda$ des emittierten Lichts grob abgeschätzt werden. Im Beispiel liegt die Durchlassspannung der roten Leuchtdiode bei etwa U = 1,4 V. Daraus folgt $\lambda = hc/eU = 880$ nm.

**Anmerkung**

Bei Leuchtdioden kann keine präzise Angabe über die Wellenlänge des emittierten Lichts getätigt werden, da sie ein relativ breites Frequenzband emittieren welches i. a. noch durch ein eingefärbtes Gehäuse gefiltert wird. Daher ist die obige Wellenlängenbestimmung nur als grobe Abschätzung zu verstehen.

## Kennlinie eines Transistors



- Beispiel laden (Kollektorstrom gegen Basisstrom)
- Beispiel laden (Kollektorstrom gegen Kollektor-Emitter-Spannung)

### Versuchsbeschreibung

Transistoren gehören zu den wichtigsten Halbleiter-Bauelementen in der elektronischen Schaltungstechnik. Die Elektroden eines bipolaren Transistors heißen Emitter, Basis und Kollektor. Er besteht aus insgesamt 3 n-leitenden und p-leitenden Schichten in der Reihenfolge npn und pnp.

Es werden die beiden Ausgangskennlinien eines npn-Transistors gemessen, also die Abhängigkeit des Kollektorstroms $I_C$ vom Basisstrom $I_B$ (bei konstanter Kollektor-Emitter-Spannung) sowie die Abhängigkeit des Kollektorstroms $I_C$ von der Kollektor-Emitter-Spannung $U_{CE}$ (bei verschiedenen konstanten Basisströmen $I_B$) untersucht.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | Power-CASSY | 524 011 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Rastersteckplatte, DIN A4 | 576 74 |
| 1 | STE Transistor BD 137 | 578 67 |
| 1 | STE Widerstand 10 kΩ, 0,5 W | 577 56 |
| 1 | STE Kondensator 0,1 µF | 578 31 |
| 1 | Paar Kabel, 25 cm, rot und blau | 501 44 |
| 2 | Paar Kabel, 50 cm, rot und blau | 501 45 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Das Power-CASSY stellt die Kollektor-Emitter-Spannung $U_{CE}$ zur Verfügung und misst gleichzeitig den fließenden Kollektorstrom $I_C$. Das kaskadierte Sensor-CASSY (direkt rechts vom Power-CASSY anstecken) sorgt für einen einstellbaren Basisstrom $I_B$ und misst ihn gleichzeitig als Spannungsabfall am 10 kΩ-Widerstand. Der kleine Kondensator von 0,1 µF zwischen Basis und Emitter unterdrückt störende Rauschsignale während der Messung.

Im Experiment werden Basisströme bis etwa 1 mA sowie Kollektorströme bis etwa 100 mA verwendet. Bitte nur geeignete Transistoren verwenden (z. B. BD 137).

### Versuchsdurchführung

a) Steuerkennlinie Kollektorstrom $I_C$ gegen Basisstrom $I_B$

- Einstellungen laden
- Kollektor-Emitter-Spannung wird vom Power-CASSY konstant bei $U_{CE}$ = 2 V gehalten und der Kollektorstrom $I_C$ kontinuierlich gemessen
- Angezeigten Basisstrom $I_B$ an Spannungsquelle S der Sensor-CASSYs auf 0 mA stellen
- Messung mit **F9** starten
- Basisstrom langsam erhöhen bis Kennlinie aufgenommen
- Messung wieder mit **F9** stoppen

b) Kennlinie Kollektorstrom $I_C$ gegen Kollektor-Emitter-Spannung $U_{CE}$

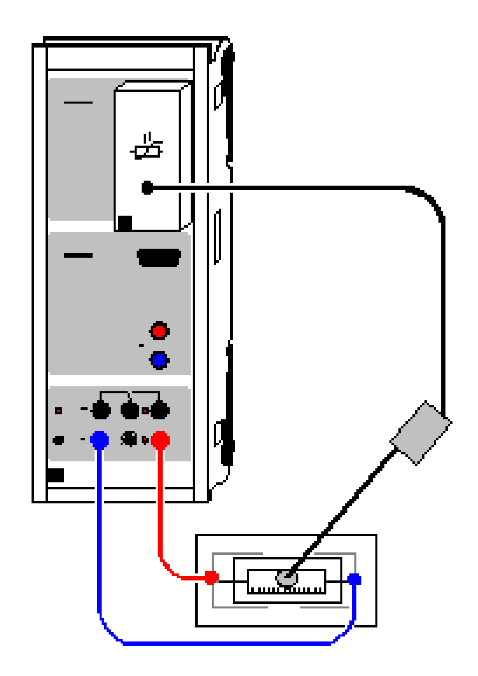
- Einstellungen laden
- Kollektor-Emitter-Spannung wird vom Power-CASSY während der Messung auf $U_{CE}$ = 2 V hochgefahren und der Kollektorstrom $I_C$ gemessen
- Angezeigten Basisstrom $I_B$ an Spannungsquelle S der Sensor-CASSYs auf 0,1 mA stellen
- Messung mit **F9** starten (Kennlinie wird automatisch aufgenommen)
- Basisstrom $I_B$ in Stufen von 0,1 mA erhöhen und weitere Kennlinien wieder mit **F9** aufnehmen

### Auswertung

Aus der Steuerkennlinie a) kann leicht die Stromverstärkung durch eine Geradenanpassung ermittelt werden. Im Beispiel ergibt sich ein Stromverstärkungsfaktor von $I_C/I_B$ = 149,6.

Auch die Kennlinie b) zeigt eindrucksvoll die Stromverstärkung des Transistors. Ab einer relativ kleinen Kollektor-Emitter-Spannung $U_{CE}$ bleibt der Ausgangsstrom $I_C$ nahezu konstant und hängt nur noch vom Basisstrom $I_B$ ab.

## Temperaturregelung



- Beispiel laden (Zweipunktregelung)
- Beispiel laden (PI-Regelung)

### Versuchsbeschreibung

Am Beispiel eines Temperaturreglers lässt sich sehr schön die Funktionsweise eines Zweipunktreglers und eines PI-Reglers demonstrieren. Dabei lässt die Trägheit der Temperaturregelstrecke ausreichend Zeit für eine genaue Beobachtung der Regelalgorithmen.

Beim Zweipunktregler wird beim Unterschreiten einer Temperaturschwelle $\vartheta_1$ ein Heizelement eingeschaltet und beim Überschreiten einer zweiten Temperaturschwelle $\vartheta_2$ das Heizelement wieder ausgeschaltet.

Alternativ kann die Temperaturreglung als PI-Regelung realisiert werden. Ein PI-Regler ermittelt aus dem Messwert $x = \vartheta_{A1}$ (Temperatur) und der Führungsgröße w (Sollwert der Temperatur) die Regelabweichung w-x.

Zusammen mit der Grundlast $y_0$ ergibt sich beim PI-Regler die Stellgröße $y = y_0 + K_P*(w-x) + K_I*\int(w-x)*dt$. Der Proportionalbeiwert $K_P$ und Integrierbeiwert $K_I$ können als Parameter der Regelung so optimiert werden, dass sich nach einer Störung (z. B. Änderung der Führungsgröße w) möglichst rasch wieder eine Regelabweichung w-x von etwa 0 einstellt. Die Grundlast $y_0$ kann hier konstant 0 gesetzt werden.

Verwendet man nur einen P-Regler ($K_I = 0$), stellt sich eine bleibende Regelabweichung w-x ein, die erst beim Einsatz eines I-Anteils verschwindet.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | KTY-Box | 524 036 |
| 1 | KTY-Sensor | 529 036 |
| 1 | Steckplattensegment | 576 71 |
| 1 | Heizelement, 100 Ω, 2 W | 579 38 |
| 1 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |



**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Die Spannungsquelle S versorgt das Heizelement. Die Temperatur des Heizelements wird durch einen KTY-Sensor mit der KTY-Box auf Steckplatz A des CASSY gemessen. Dazu sollten ein paar Tropfen Wasser in das Heizelement eingefüllt und der KTY-Sensor in das Wasser eingetaucht werden.

**Versuchsdurchführung**

a) Zweipunktregelung

- Einstellungen laden
- Potentiometer der Spannungsquelle S ganz nach rechts drehen
- Schaltschwellen $\vartheta_1$ und $\vartheta_2$ durch individuelle Werte ersetzen; dazu den Zeiger des Anzeigeinstruments mit der Maus verschieben oder in den Einstellungen $\vartheta_1$ oder $\vartheta_2$ (rechte Maustaste) den Wert des Parameters entsprechend ändern
- Wenn gewünscht, Temperaturverlauf während der Regelung mit **F9** aufnehmen und Aufnahme wieder mit **F9** stoppen

b) PI-Regelung

- Einstellungen laden
- Potentiometer der Spannungsquelle S ganz nach rechts drehen
- Führungsgröße w etwa 5 °C über die aktuelle Temperatur $\vartheta_{A1}$ setzen; dazu den Zeiger des Anzeigeinstruments mit der Maus verschieben oder in den Einstellungen w (rechte Maustaste) den Wert der Führungsgröße entsprechend ändern
- Proportionalbeiwert $K_P$ und Integrierbeiwert $K_I$ durch individuelle Werte ersetzen; dazu in den Einstellungen $K_P$ oder $K_I$ (rechte Maustaste) den Wert des Parameters entsprechend ändern
- Temperaturregelung mit **F9** starten und auch später wieder stoppen

**Auswertung**

Beim Zweipunktregler lassen sich zur Verdeutlichung die beiden Schaltschwellen $\vartheta_1$ und $\vartheta_2$ durch waagerechte Markierungslinien im Diagramm eintragen.

Die Güte des PI-Regler hängt entscheidend von der Wahl des Proportionalbeiwerts $K_P$ und des Integrierbeiwerts $K_I$ ab. Die schwarze Linie entspricht der Führungsgröße w (Sollwert). Die rote Kurve entspricht der die Regelgröße x (Messwert) und sollte sich nach einer Störung schnell wieder der schwarzen Kurve annähern. Die blaue Kurve gibt die Stellgröße y wieder und entspricht daher der Heizspannung.

**Empirische Optimierung des PI-Temperaturreglers**

Die Temperaturregelstrecke ist sehr langsam. Daher sind die Auswirkungen der Änderungen von $K_P$ und $K_I$ erst sehr spät zu sehen. Die empirische Optimierung wird also einige Zeit in Anspruch nehmen:

- $K_I$ auf 0 setzen, $K_P$ in sinnvollen Stufen erhöhen (z. B. um 1), bis Regelkreis oszilliert
- $K_P$ wieder verringern, bis die Oszillationen abklingen. Dabei entsteht eine bleibende Regelabweichung
- $K_I$ in sinnvollen Stufen erhöhen (z. B. um $K_P$/200), bis wieder Oszillationen einsetzen
- $K_I$ wieder verringern, bis die Oszillationen abklingen. Der Regler wird allerdings langsamer, je kleiner $K_I$ wird

Im Beispiel wurde $K_P$=5 und $K_I$=0,05 /s verwendet.

**Automatische Variation der Führungsgröße**

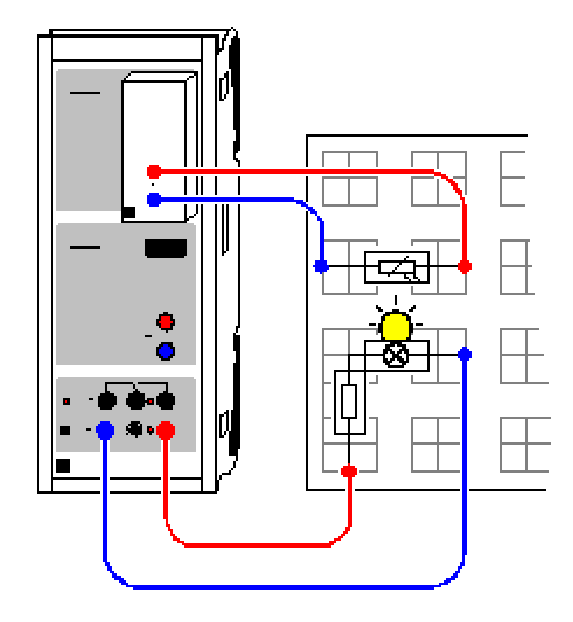
Die Führungsgröße w (Sollwert) kann nicht nur manuell verändert werden, sondern auch automatisch. Dazu beispielsweise in den Einstellungen w als Formel **30+sin(360*t/1000)** eingeben. Damit wird ein sinusförmiger Temperaturverlauf zwischen 29 °C und 31 °C mit einer Periodendauer von 1000 s geregelt.

**Verwendung der Temperatur-Box (524 045)**

Alternativ zur KTY-Box kann auch die Temperatur-Box (524 045) mit NiCr-Ni-Fühler oder NTC eingesetzt werden. Dazu in den Einstellungen $\vartheta_{A1}$ die Temperatur zunächst löschen, dann in den Einstellungen CASSY (**F5**) die Temperatur-Box auf Eingang A anklicken sowie auf **gemittelte Werte** und **Nullpunkt links** stellen. Es muss dann nur noch in den Einstellungen w der Messbereich auf 0 °C bis 120 °C und in den Einstellungen w-x die Formel auf **(w-&JA11)/50** verändert werden.



## Helligkeitsregelung



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es wird eine Helligkeitsregelung einer Glühlampe unter veränderten Vorwiderständen realisiert. Dabei kommt ein PI-Regler zum Einsatz. Ein PI-Regler ermittelt aus dem Messwert $x = R_{A1}$ (Widerstand eines LDR) und der Führungsgröße w (Sollwert des Widerstands des LDR) die Regelabweichung w-x.

Zusammen mit der Grundlast $y_0$ ergibt sich beim PI-Regler die Stellgröße $y = y_0 + K_P*(w-x) + K_I*\int(w-x)*dt$. Der Proportionalbeiwert $K_P$ und Integrierbeiwert $K_I$ können als Parameter der Regelung so optimiert werden, dass sich nach einer Störung (z. B. zusätzlicher Vorwiderstand, Änderung der Führungsgröße w oder der Grundlast $y_0$) möglichst rasch wieder eine Regelabweichung w-x von etwa 0 einstellt.

Verwendet man nur einen P-Regler ($K_I = 0$), stellt sich eine bleibende Regelabweichung w-x ein, die erst beim Einsatz eines I-Anteils verschwindet.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Stromquellen-Box | 524 031 |
| 1 | Rastersteckplatte, DIN A4 | 576 74 |
| 1 | Schraubfassung E10, seitlich | 579 05 |
| 1 | Satz 10 Glühlampen 3,8 V/0,07 A | 505 10 |
| 1 | Kippschalter, einpolig | 579 13 |
| 1 | Fotowiderstand LDR 05 | 578 02 |
| 1 | STE Widerstand 10 Ω, 2 W | 577 20 |
| 1 | STE Widerstand 20 Ω, 2 W | 577 23 |
| 1 | STE Widerstand 47 Ω, 2 W | 577 28 |
| 1 | STE Widerstand 100 Ω, 2 W | 577 32 |
| 2 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Die Spannungsquelle S versorgt über einen Schutzwiderstand von 100 Ω die Glühlampe. Die Helligkeit der Glühlampe wird durch einen lichtempfindlichen Widerstand (LDR) zusammen mit der Stromquellen-Box auf Eingang A des CASSY gemessen.

Als Störung können mit dem Kippschalter zusätzliche Vorwiderstände zugeschaltet werden. Ein geschlossener Kippschalter schließt den Vorwiderstand kurz und ein offener Kippschalter fügt den Vorwiderstand ein.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Potentiometer der Spannungsquelle S ganz nach rechts drehen
- Die Glühlampe leuchtet bereits, da eine Grundlast $y_0$ von 0,5 vorgegeben ist. Das bedeutet, dass der PWM-Ausgang S ein Tastverhältnis von 50 % liefert.
- Die Grundlast $y_0$ nach eigenen Wünschen verändern; dazu in den Einstellungen $y_0$ (rechte Maustaste auf $y_0$) den Wert des Parameters entsprechend setzen
- Als Führungsgröße w den gemessenen Widerstand eingeben; dazu den Zeiger des Anzeigeinstruments mit der Maus verschieben oder in den Einstellungen w (rechte Maustaste) den Wert des Parameters entsprechend setzen
- Regelung mit **F9** starten und später auch wieder mit **F9** beenden
- Während der Regelung kann eine Störung aufgeprägt werden, z. B. ein Vorwiderstand zugeschaltet oder Führungsgröße oder Grundlast verändert werden
- Zur Optimierung des Reglers können Proportionalbeiwert $K_P$ und Integrierbeiwert $K_I$ variiert werden; dazu in den Einstellungen $K_P$ oder $K_I$ (rechte Maustaste) die Werte entsprechend setzen

### Auswertung

An den aufgenommenen Kurven sieht man schön die Güte des Reglers. Die schwarze Linie entspricht der Führungsgröße w (Sollwert). Die rote Kurve entspricht der die Regelgröße x (Messwert) und sollte sich nach einer Störung schnell wieder der schwarzen Kurve annähern. Die blaue Kurve gibt die Stellgröße y wieder und entspricht daher der Lampenspannung.

### Empirische Optimierung des PI-Helligkeitsreglers

Die Werte für $K_P$ und $K_I$ müssen negativ gewählt werden, da der Widerstandsmesswert der Sensorbox kleiner wird, je größer die Spannung an der Spannungsquelle S ist.

- $K_I$ auf 0 setzen, $K_P$ in sinnvollen Stufen erhöhen (z. B. um -0,1), bis Regelkreis oszilliert
- $K_P$ wieder verringern, bis die Oszillationen abklingen. Dabei entsteht eine bleibende Regelabweichung.
- $K_I$ in sinnvollen Stufen erhöhen (z. B. um 10*$K_P$), bis wieder Oszillationen einsetzen
- $K_I$ wieder verringern, bis die Oszillationen abklingen. Der Regler wird allerdings langsamer, je kleiner $K_I$ wird.

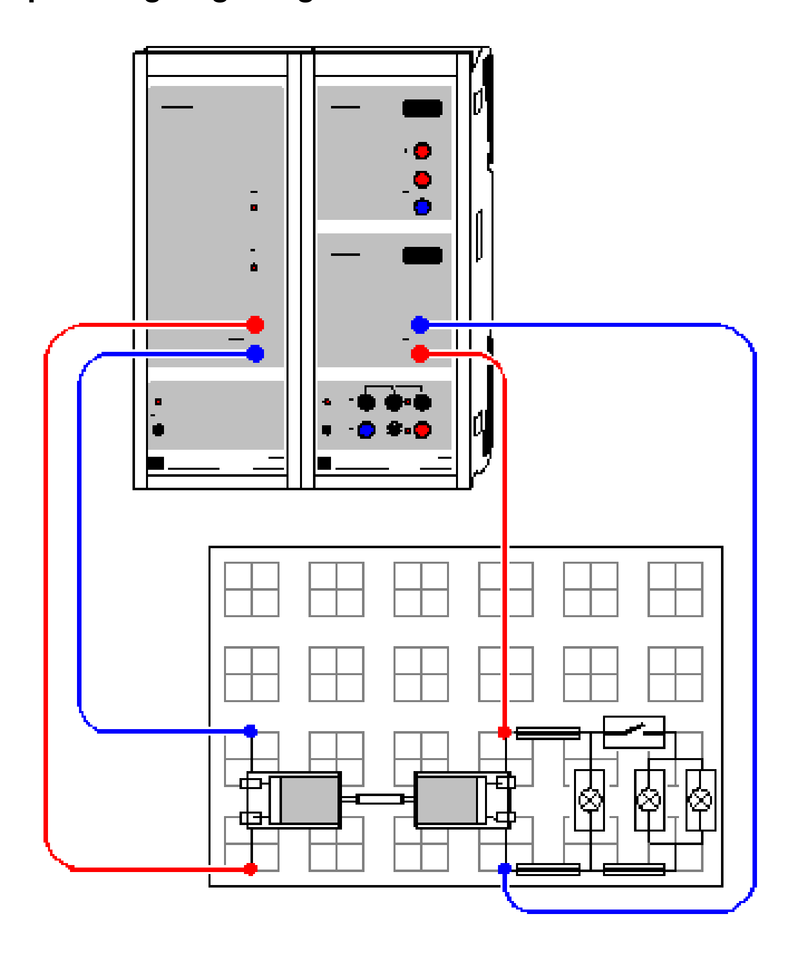
Im Beispiel wurde $K_P$=-0,5 und $K_I$=-5 /s verwendet.

### Automatische Variation der Führungsgröße

Die Führungsgröße w (Sollwert) kann nicht nur manuell verändert werden, sondern auch automatisch. Dazu beispielsweise in den Einstellungen w als Formel **1+0,5*sin(360*t/20)** eingeben. Damit wird ein sinusförmiger Widerstandsverlauf des LDR zwischen 0,5 kΩ und 1,5 kΩ mit einer Periodendauer von 20 s geregelt.



## Spannungsregelung



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es wird die Spannungsregelung eines Generators unter einer veränderlichen Last realisiert. Dabei kommt ein PI-Regler zum Einsatz. Ein PI-Regler ermittelt aus dem Messwert $x = U_{B2}$ (Spannung des Generators) und der Führungsgröße w (Sollwert des Generators) die Regelabweichung w-x.

Zusammen mit der Grundlast $y_0$ ergibt sich beim PI-Regler die Stellgröße $y = y_0 + K_P*(w-x) + K_I*\int(w-x)*dt$. Der Proportionalbeiwert $K_P$ und Integrierbeiwert $K_I$ können als Parameter der Regelung so optimiert werden, dass sich nach einer Störung (z. B. zusätzliche Belastung, Änderung der Führungsgröße w oder der Grundlast $y_0$) möglichst rasch wieder eine Regelabweichung w-x von etwa 0 V einstellt.

Verwendet man nur einen P-Regler ($K_I = 0$), stellt sich eine bleibende Regelabweichung w-x ein, die erst beim Einsatz eines I-Anteils verschwindet.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | Power-CASSY | 524 011 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Rastersteckplatte, DIN A4 | 576 74 |
| 2 | DC-Motoren und Tachogeneratoren | 579 43 |
| 1 | Kippschalter, einpolig | 579 13 |
| 3 | Schraubfassungen E 10, oben | 579 06 |
| 1 | Satz 10 Glühlampen 3,8 V/0,07 A | 505 10 |
| 1 | Kunststoffschlauch 6 mm | 307 641 |
| 2 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Das Power-CASSY versorgt den Motor (links), der über ein ca. 25 mm langes Teilstück eines Kunststoffschlauchs den Generator (rechts) antreibt. Die Spannung des Generators wird am Eingang B des Sensor-CASSYs gemessen. Dabei ist zu beachten, dass entweder der Motor oder der Generator umgekehrt gepolt angeschlossen werden, da der Motor und der Generator gegensinnig gekoppelt sind.

Zur Variation der Belastung des Generators dienen drei Glühlampen, von denen zwei mit einem Kippschalter zugeschaltet werden können.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Die Motor dreht sich bereits, da eine Grundlast $y_0$ von 6 V vorgegeben ist.
- Die Grundlast $y_0$ nach eigenen Wünschen verändern; dazu in den Einstellungen $y_0$ (rechte Maustaste auf $y_0$) den Wert des Parameters entsprechend setzen
- Die gemessene Spannung $U_{B2}$ kontrollieren; sie muss positiv sein (eventuell umpolen)
- Als Führungsgröße w die gemessene Spannung eingeben; dazu den Zeiger des Anzeigeinstruments mit der Maus verschieben oder in den Einstellungen w (rechte Maustaste) den Wert des Parameters entsprechend setzen
- Regelung mit **F9** starten und später auch wieder mit **F9** beenden
- Während der Regelung kann eine Störung aufgeprägt werden, z. B. die Generatorlast variiert oder Führungsgröße oder Grundlast verändert werden
- Zur Optimierung des Reglers können Proportionalbeiwert $K_P$ und Integrierbeiwert $K_I$ variiert werden; dazu in den Einstellungen $K_P$ oder $K_I$ (rechte Maustaste) die Werte entsprechend setzen

### Auswertung

An den aufgenommenen Kurven sieht man schön die Güte des Reglers. Die schwarze Linie entspricht der Führungsgröße w (Sollwert). Die rote Kurve entspricht der die Regelgröße x (Messwert) und sollte sich nach einer Störung schnell wieder der schwarzen Kurve annähern. Die blaue Kurve gibt die Stellgröße y wieder und entspricht daher der Motorspannung.

### Empirische Optimierung des PI-Spannungsreglers

- $K_I$ auf 0 setzen, $K_P$ in sinnvollen Stufen erhöhen (z. B. um 0,1), bis Regelkreis oszilliert
- $K_P$ wieder verringern, bis die Oszillationen abklingen. Dabei entsteht eine bleibende Regelabweichung.
- $K_I$ in sinnvollen Stufen erhöhen (z. B. um 10*$K_P$), bis wieder Oszillationen einsetzen
- $K_I$ wieder verringern, bis die Oszillationen abklingen. Der Regler wird allerdings langsamer, je kleiner $K_I$ wird.

Im Beispiel wurde $K_P$=0,5 und $K_I$=4 /s verwendet.

### Automatische Variation der Führungsgröße

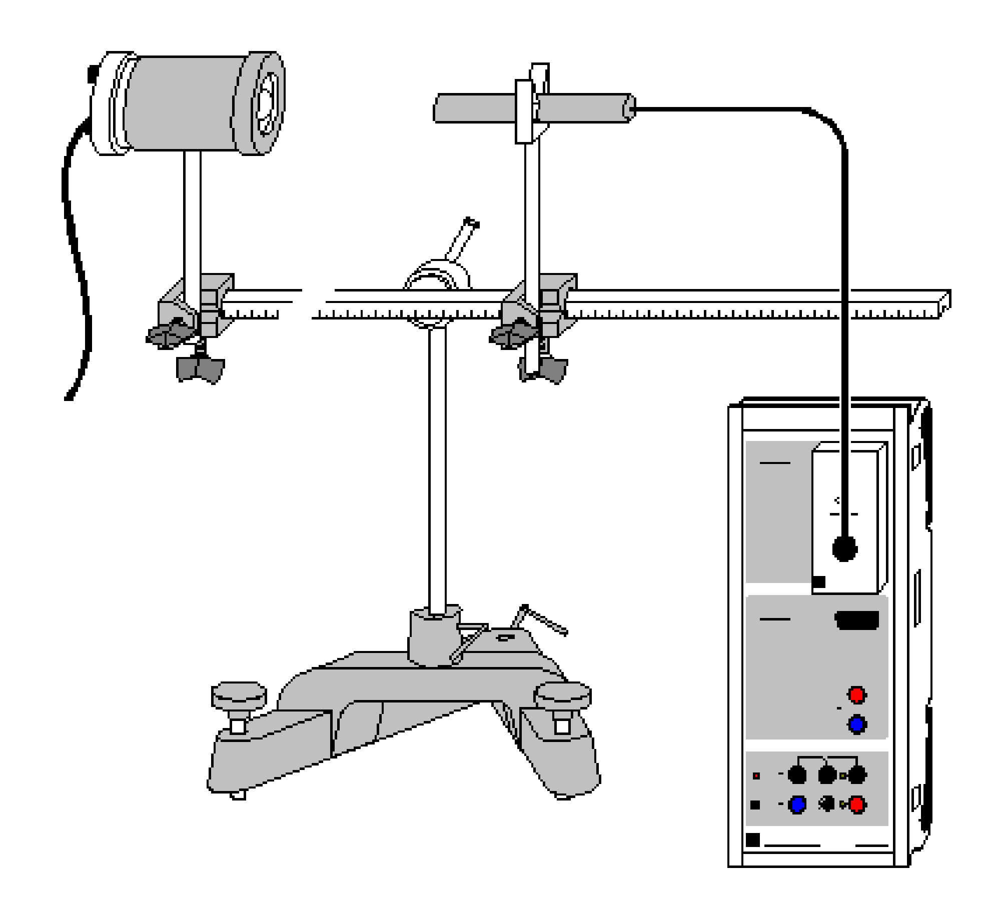
Die Führungsgröße w (Sollwert) kann nicht nur manuell verändert werden, sondern auch automatisch. Dazu beispielsweise in den Einstellungen w als Formel **4+sin(360*t/20)** eingeben. Damit wird ein sinusförmiger Spannungsverlauf zwischen 3 V und 5 V mit einer Periodendauer von 20 s geregelt.

### Andere Regelstrecken

Dieses Beispiel lässt sich auch an andere Regelstrecken anpassen. Sofern die Regelgröße eine Spannung ist, reicht die Anpassung des Stellbereichs und Messbereichs sowie der Regelparameter KP und KI aus.

Wenn die Regelgröße von einer Sensorbox geliefert wird, muss zunächst der Kanal $U_{B2}$ durch Auswahl von **Löschen** in den Einstellungen $U_{B2}$ gelöscht werden, damit die Sensorbox auf dem Eingang B des Sensor-CASSYs erkannt wird. In den Einstellungen CASSY (**F5**) kann die Sensorbox dann mit der Maus aktiviert und wieder **gemittelte Werte** eingestellt werden. Einheit und Symbol der Führungsgröße w und Regelabweichung w-x müssen ebenso angepasst werden, wie die Berechnungsformel der Regelabweichung (z. B. **w-RB2** statt **w-UB2**). Die Einstellungen können wie üblich nach Anklicken des Kanals w oder w-x mit der rechten Maustaste verändert werden.

## Quadratisches Abstandsgesetz für Licht



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es wird die Beleuchtungsstärke E in Abhängigkeit vom Abstand d zwischen einer Glühwendel und einem Luxsensor gemessen. Dabei stellt sich heraus, dass E proportional zu $1/d^2$ ist.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Lux-Box | 524 051 |
| 1 | Luxsensor | 666 243 |
| 1 | Lampe, 6 V, 30 W | 450 51 |
| 1 | Lampengehäuse | 450 60 |
| 1 | Spannungsquelle, 6 V, 30 W, z. B. | 562 73 |
| 1 | Kleine optische Bank | 460 43 |
| 2 | Leybold-Muffen | 301 01 |
| 1 | Federstecker | 590 02 |
| 1 | Stativlochstab | 590 13 |
| 1 | Kleiner Stativfuß | 300 02 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Das Lampengehäuse mit der Lampe sowie der Luxsensor werden auf der optischen Bank aufgebaut. Der Luxsensor wird mit dem Federstecker auf dem Stativlochstab befestigt. Der verschiebbare Einsatz des Lampengehäuses muss ganz hineingeschoben werden.

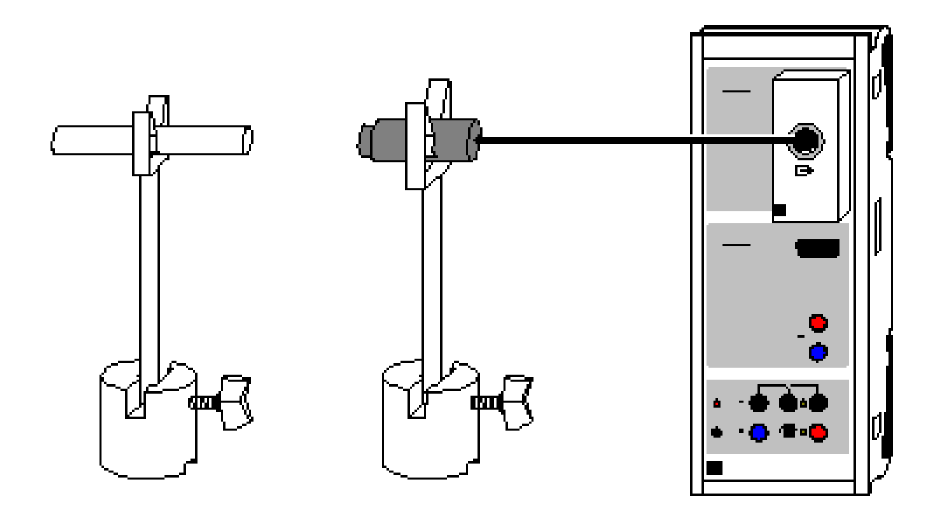
**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Korrekturfaktor F des speziellen Luxsensors (dort aufgedruckt) eingeben – dazu Einstellungen $E_{A1}$ und **Korrigieren** wählen, Faktor eingeben und **Faktor korrigieren**
- Hintergrundhelligkeit korrigieren – dazu Einstellungen $E_{A1}$ und **Korrigieren**, **Offset korrigieren**
- Lampe einschalten und 10 cm Abstand zwischen Glühwendel und Luxsensor einstellen
- Abstand in Tabelle eintragen – dazu erste Tabellenzelle der Spalte d anklicken und Wert eingeben
- Auch Beleuchtungsstärke mit **F9** in Tabelle übernehmen
- Abstand stufenweise vergrößern, in Tabelle eintragen und jeweils mit **F9** auch neue Beleuchtungsstärke übernehmen

**Auswertung**

Bereits während der Messung werden die Messwerte im Diagramm dargestellt. Zur Bestätigung des quadratischen Abstandsgesetzes kann eine Hyperbelanpassung $1/x^2$ durchgeführt oder alternativ die x-Achse in $1/x^2$ umgerechnet (Achse mit rechter Maustaste anklicken) und eine Gerade angepasst werden.

## Poissonverteilung



❑ Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Die Anzahl x der Zerfallsereignisse in einem radioaktiven Präparat in einem Zeitintervall Δt ist nicht konstant. Viele Einzelmessungen können als Häufigkeitsverteilung H(x) dargestellt werden, die um den Mittelwert μ streut. Durch den Vergleich dieser Häufigkeitsverteilung mit der Poissonverteilung lässt sich bestätigen, dass x poissonverteilt um den Mittelwert μ ist.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | GM-Box | 524 033 |
| 1 | Fensterzählrohr | 559 01 |
| 1 | Satz Radioaktive Präparate | 559 83 |
| 1 | Großer Federstecker | 591 21 |
| 1 | Federstecker | 590 02 |
| 2 | Anschlussstäbe | 532 16 |
| 2 | Sockel | 300 11 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Das Fensterzählrohr wird über die GM-Box an Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen. Zählrohr und Präparat vorsichtig behandeln.

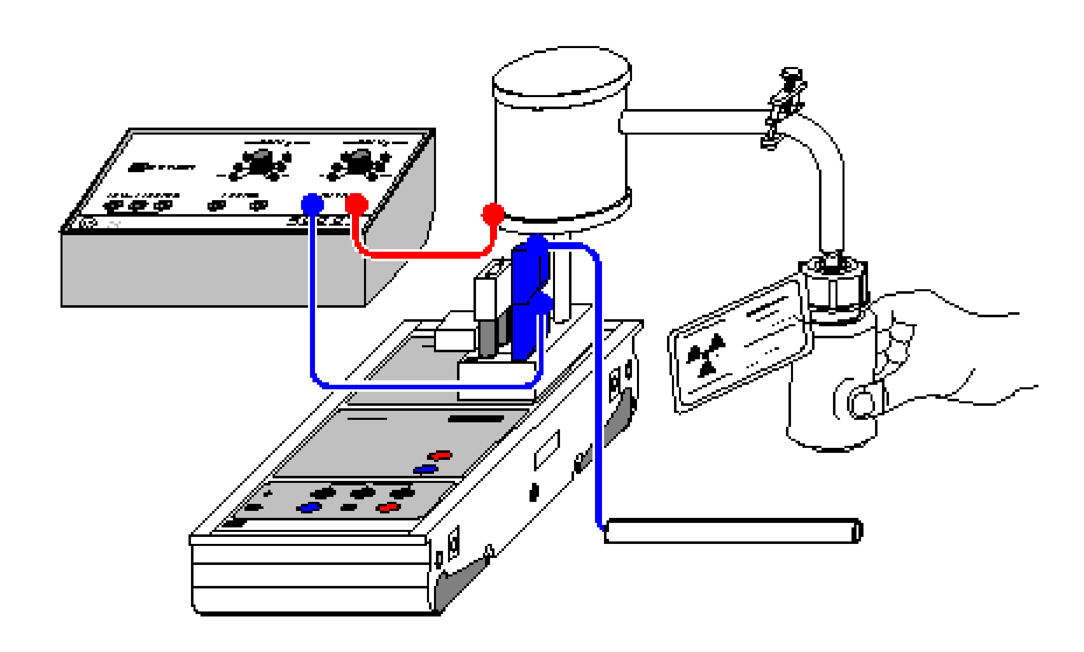
### Versuchsdurchführung

❑ Einstellungen laden
- Eventuell Torzeit Δt anpassen (Einstellungen RA1)
- Eventuell Messvorwahl treffen. Dazu Anzahl Messungen in Messbedingung des Messparameterfensters (erscheint nach **F5**) eintragen (z. B. **n < 1000** für 1000 Einzelmessungen)
- Messreihe mit **F9** starten und nach der Aufnahme der Messreihe mit **F9** wieder stoppen

### Auswertung

Zur Auswertung besteht die Möglichkeit, die gemessene Häufigkeitsverteilung mit einer Poissonverteilung zur vergleichen. Bei höheren Mittelwerten μ geht die Poissonverteilung in eine Gaußverteilung über.

## Halbwertszeit von Radon



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Aus der Tatsache, dass alle radioaktiven Atomkerne eines Isotops mit der gleichen Wahrscheinlichkeit zerfallen, folgt, dass während des folgenden Zeitintervalls dt die Zahl N dieser radioaktiven Kerne um

$dN = -\lambda \cdot N \cdot dt$

abnehmen wird (λ: Zerfallskonstante). Für die Anzahl N folgt daraus das Zerfallsgesetz

$N(t) = N(t{=}0) \cdot e^{(-\lambda \cdot t)}$.

Es besagt u. a., dass nach der Halbwertszeit

$t_{½} = \ln 2 / \lambda$

die Anzahl der radioaktiven Kerne halbiert ist.

Zur Bestimmung der Halbwertszeit von Radon 220 (Rn-220) wird eine Plastikflasche mit Thoriumsalz an eine Ionisationskammer angeschlossen und das in der Zerfallskette des Thorium auftretende Edelgas Radon in die Kammer gepumpt. Das Gas enthält u. a. das Isotop Rn-220, dessen Halbwertszeit ca. 55 s beträgt. Die Halbwertszeiten anderer Radon-Isotope sind von dieser Zeit wesentlich verschieden und brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

Es wird nun der zeitliche Verlauf des Ionisationsstroms gemessen, der proportional zur Radioaktivität des Gases ist. Dabei dient die hochohmig beschaltete Elektrometer-Box als hochempfindliches Strommessgerät.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Elektrometer-Box | 524 054 |
| 1 | Ionisationskammer | 546 25 |
| 1 | Gefäß mit Thoriumsalz | 546 36 |
| 1 | Netzgerät 450 V- | 522 27 |
| 1 | STE Widerstand 10 GΩ | 577 03 |
| 1 | STE Kondensator 100 pF | 578 22 |
| 2 | Klemmstecker | 590 011 |
| 1 | Kupplungsstecker | 340 89 |
| 2 | Anschlussstäbe | 532 16 |

1 Satz Brückenstecker 501 48
1 Experimentierkabel, 50 cm, blau 500 422
1 Paar Kabel, 100 cm, rot und blau 501 46
1 PC ab Windows 95/98/NT

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Der Versuch wird direkt auf der Elektrometer-Box auf Eingang A des Sensor-CASSYs aufgebaut. Die Ionisationskammer wird mit dem Kupplungsstecker und dem Anschlussstab auf die obere rechte Buchse der Box gesteckt, die beiden oberen linken Buchsen werden mit einem Brückenstecker verbunden und die beiden unteren linken Buchsen nehmen den Messwiderstand von 10 GΩ sowie den Glättungskondensator von 100 pF auf (Klemmstecker zur Aufnahme beider Bauteile verwenden).

Die verbleibende Massebuchse der Elektrometer-Box dient der Erdung des Experimentators (er hält während des Experiments einen mit Masse verbundenen Anschlussstab in der Hand) um seinen Einfluss auf die empfindliche Messung zu minimieren.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Eventuell Offset der Elektrometer-Box korrigieren, dazu Anschlussstab der Ionisationskammer erden, in Einstellungen $U_{A1}$ **Korrigieren** wählen, als ersten Sollwert 0 V eingeben und **Offset korrigieren**
- Spannung von 450 V zwischen Masse der Elektrometer-Box und Zylinder der Ionisationskammer anlegen
- Durch mehrmaliges Drücken auf das Gefäß mit Thoriumsalz die Ionisationskammer mit Radon 220 beschicken
- Nach einer kurzen Beruhigungspause Messreihe mit **F9** starten (stoppt nach 180 s automatisch)

**Auswertung**

Zur Bestimmung der Halbwertszeit gibt es mehrere Möglichkeiten. Durch Setzen von waagerechten und senkrechten Markierungslinien kann die Halbwertszeit grafisch veranschaulicht und abgelesen werden.

Eine Exponentialanpassung der I(t)-Kurve ergibt als Parameter B der Anpassung den Kehrwert der Zerfallskonstanten $\lambda$. Damit ist die Halbwertszeit $t_{½} = \ln 2 \cdot B = 0{,}693 \cdot B$.

Aus dem Parameter A einer Geradenanpassung der logarithmierten Darstellung (rechte Maustaste auf y-Achse und logarithmieren wählen) ergibt sich die Halbwertszeit zu $t_{½} = -\log 2/A = -0{,}301/A$.

Im Beispiel ergibt sich der Literaturwert $t_{½}$ = 55,6 s.

## α-Spektroskopie an radioaktiven Proben (Am-241)

Beispiel laden

### Sicherheitshinweis

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.

### Versuchsbeschreibung

Es wird das α-Spektrum des Am-241 Präparates aufgenommen und eine Energiekalibrierung anhand bekannter Linien durchgeführt.



**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | VKA-Box | 524 058 |
| 1 | Am-241-Präparat | 559 82 |
| 1 | Streukammer nach Rutherford | 559 56 |
| 1 | Diskriminator-Vorverstärker | 559 93 |
| 1 | Verbindungskabel, 6polig, 1,5 m | 501 16 |
| 1 | HF-Kabel, 1 m | 501 02 |
| 1 | HF-Kabel, 0,25 m | 501 01 |
| 1 | Drehschieber-Vakuumpumpe D 2,5 E | 378 752 |
| 1 | Kleinflansch DN 16 KF mit Schlauchwelle | 378 031 |
| 1 | Vakuumschlauch, d = 8 mm | 307 68 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

zusätzlich empfohlen

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Auspuff-Filter AF 1,8 | 378 764 |
| 1 | Zweikanal-Oszilloskop 303 | 575 211 |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Das Präparat und der Detektor werden in der Rutherford-Streukammer platziert. Der Detektor wird über das kurze HF-Kabel mit dem Diskriminator-Vorverstärker verbunden. Der Diskriminator-Vorverstärker wird mit der VKA-Box verbunden. Die Pumpe wird an die Rutherford-Streukammer angeschlossen.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Rutherford-Streukammer evakuieren
- Messung mit **F9** starten
- Verstärkung der VKA-Box so verändern, dass das Spektrum die verfügbaren Kanäle ausfüllt. Dies ist typischerweise bei Verstärkungen um 5 der Fall.
- Bei Messungen mit dem Halbleiterdetektor entsteht ein relativ hoher Rauschpegel, der sich auch durch Erdung des Versuches nicht vollständig entfernen lässt. In den unteren 100 Kanälen entsteht so eine recht hohe Zählrate. Durch die automatische Skalierung des Spektrums ist die eigentliche Linie dann nur schlecht zu sehen. Hier sollte im Diagramm ein Zoom verwendet werden. Aufgrund der internen Architektur der VKA-Box bietet es sich in diesem Fall an, mit Verstärkungen unter 4,6 zu arbeiten.
- Nach jeder Änderung der Verstärkung empfiehlt es sich, das gemessene Spektrum mit **F4** zu löschen, um eine Mischung von Spektren zu vermeiden. Die Messung läuft dabei weiter, und die Messzeit startet wieder neu.
- Nach Ablauf der eingestellten Messzeit stoppt die Messung.

**Auswertung**

Das Isotop Am-241 zerfällt zu Np-237 indem es ein $\alpha$-Teilchen emittiert. Da mehrere angeregte Zustände des Neptuniums möglich sind, werden bei diesem Zerfall $\alpha$-Teilchen mit verschiedenen Energien emittiert. Von 100 Zerfällen emittieren 84 ein $\alpha$-Teilchen mit 5486 keV und 13 eines mit 5443 keV. Dieser geringe Energieunterschied ist aber im Versuch nicht sichtbar.

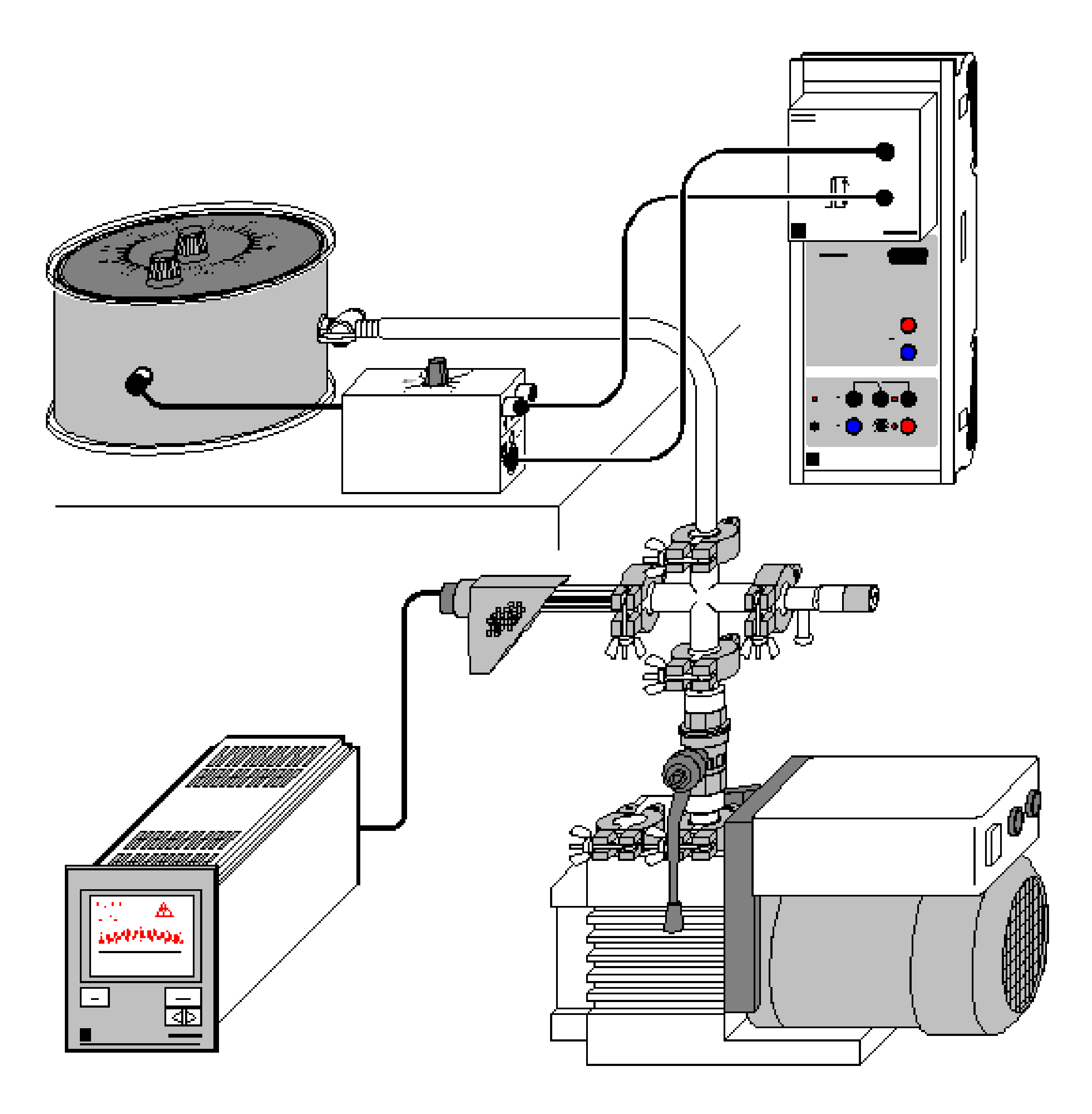
Nach der Messung ist das Spektrum noch nicht kalibriert. Um das Spektrum über der Energie darzustellen, muss eine Energiekalibrierung durchgeführt werden.

**Hinweis**

Der Halbleiterdetektor ist lichtempfindlich, deshalb direkte Beleuchtung der Vakuumkammer vermeiden, um die Messergebnisse nicht zu verfälschen.

Bedingt durch die Abdeckung der Präparate ergibt sich ein hoher Offset der Energie. Das gemessene Spektrum beginnt erst bei einer Energie von 1-2 MeV. Teilchen mit geringerer Energie werden bereits vor dem Detektor gestoppt.

## Bestimmung des Energieverlustes von α-Strahlung in Luft



Beispiel laden

### Sicherheitshinweis

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.



**Versuchsbeschreibung**

Der Energieverlust der α-Strahlung einer Am-241-Probe wird in Abhängigkeit vom Luftdruck in der Streukammer gemessen. Daraus wird der Energieverlust bei Normaldruck in Abhängigkeit vom Abstand berechnet. Es ergibt sich die Reichweite der α-Strahlung in Luft.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | VKA-Box | 524 058 |
| 1 | Am-241-Präparat | 559 82 |
| 1 | Streukammer nach Rutherford | 559 56 |
| 1 | Diskriminator-Vorverstärker | 559 93 |
| 1 | Verbindungskabel, 6polig, 1,5 m | 501 16 |
| 1 | HF-Kabel, 1 m | 501 02 |
| 1 | HF-Kabel, 0,25 m | 501 01 |
| 1 | Drehschieber-Vakuumpumpe | 378 752 |
| 1 | Kleinflansch DN 16 KF | 378 031 |
| 1 | Vakuumschlauch, d = 8 mm | 307 68 |
| 1 | Kreuzstück DN 16 KF | 378 015 |
| 1 | Dosierventil mit DN 16 KF | 378 776 |
| 1 | Vakuummeter-Messröhre TR 211 | 378 501 |
| 1 | Vakuummeter-Messkabel, 3 m | 378 502 |
| 1 | Vakuummeter-Anzeige TM 21 | 378 500 |
| 4 | Zentrierring DN 16 KF | 378 045 |
| 4 | Spannring DN 10/16 KF | 378 050 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

zusätzlich empfohlen

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Auspuff-Filter AF 1,8 | 378 764 |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Das Präparat und der Detektor werden in der Rutherford-Streukammer platziert. Der Detektor wird über das kurze HF-Kabel mit dem Diskriminator-Vorverstärker verbunden. Der Diskriminator-Vorverstärker wird mit der VKA-Box verbunden. Die Pumpe und das Vakuummeter werden an die Rutherford-Streukammer angeschlossen.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Nach Einbau von Präparat und Detektor Rutherford-Streukammer vorsichtig evakuieren.
- Nach Erreichen des Vakuums Spektrum aufnehmen (**F9**), dabei die Verstärkung so variieren, dass die Linie des Am-241 ungefähr in der Mitte des Spektrums erscheint.
- Energie kalibrieren, siehe Hinweis
- Dosierventil öffnen, bis der Druck in der Vakuumkammer ca. 300 mbar beträgt. Neues Spektrum aufnehmen.
- Druck in der Vakuumkammer erhöhen und zunächst in Schritten von etwa 100 mbar, ab 800 mbar in kleineren Schritten, jeweils ein α-Spektrum aufnehmen (**F9**).

**Auswertung**

Aus den einzelnen Spektren wird die Energie der α-Linie bestimmt. Der Luftdruck wird in die effektive Luftstrecke bei Normaldruck umgerechnet. Aus der Darstellung der Energie über der effektiven Luftstrecke wird die Reichweite der α-Strahlung abgelesen.

**Hinweise**

Eine direkte Messung der Reichweite in Luft, ohne die Streukammer zu verwenden, ist natürlich auch möglich. Durch Variation des Abstands kann die Reichweite bestimmt werden. Der Aufbau erfordert aber etwas Improvisation bei der Befestigung des Präparates. Der Detektor kann direkt auf den Diskriminator-Vorverstärker gesteckt werden. Er liefert dann deutlich höhere Pulse als in der Streukammer, da die Belastung durch die Kapazität des HF Kabels entfällt.

Der Halbleiterdetektor ist lichtempfindlich, deshalb direkte Beleuchtung der Vakuumkammer vermeiden, um die Messergebnisse nicht zu verfälschen.

Bei Messungen mit dem Halbleiterdetektor entsteht ein relativ hoher Rauschpegel, der sich auch durch Erdung des Versuches nicht vollständig entfernen lässt. In den unteren 100 Kanälen entsteht so eine recht hohe Zählrate. Durch die automatische Skalierung des Spektrums ist die eigentliche Linie dann nur schlecht zu sehen. Hier sollte im Diagramm ein Zoom verwendet werden. Aufgrund der internen Architektur der VKA-Box bietet es sich in diesem Fall an, mit Verstärkungen unter 4,6 zu arbeiten.

Bedingt durch die Abdeckung der Präparate ergibt sich ein hoher Offset der Energie. Das gemessene Spektrum beginnt erst bei einer Energie von 1-2 MeV. Teilchen mit geringerer Energie werden bereits vor dem Detektor gestoppt.

## Bestimmung des Energieverlustes von α-Strahlung in Aluminium und in Gold

Beispiel laden

### Sicherheitshinweis

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.

### Versuchsbeschreibung

Der Energieverlust von α-Strahlung in einer Aluminiumfolie oder Goldfolie wird in Abhängigkeit von der α-Energie bestimmt.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | VKA-Box | 524 058 |
| 1 | Am-241-Präparat | 559 82 |
| 1 | Ra-226-Präparat | 559430 |
| 1 | Streukammer nach Rutherford | 559 56 |
| 1 | Aluminium-Folie in Fassung | 559 52 |
| 1 | Diskriminator-Vorverstärker | 559 93 |
| 1 | Verbindungskabel, 6polig, 1,5 m | 501 16 |
| 1 | HF-Kabel, 1 m | 501 02 |
| 1 | HF-Kabel, 0,25 m | 501 01 |
| 1 | Drehschieber-Vakuumpumpe | 378 752 |
| 1 | Kleinflansch DN 16 KF | 378 031 |
| 1 | Vakuumschlauch, d = 8 mm | 307 68 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

zusätzlich empfohlen

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Auspuff-Filter AF 1,8 | 378 764 |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Das Präparat, die Folie und der Detektor werden in der Rutherford-Streukammer montiert. Der Detektor wird über das kurze HF-Kabel mit dem Diskriminator-Vorverstärker verbunden. Der Diskriminator-Vorverstärker wird mit der VKA-Box verbunden. Die Pumpe wird an die Rutherford-Streukammer angeschlossen.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Ra-226 Präparat und Goldfolie in die Streukammer einbauen
- Kammer evakuieren
- Goldfolie (2 µm dick) aus dem Strahlengang schwenken, Spektrum aufnehmen (**F9**), dabei die Verstärkung so einstellen, dass das Spektrum gut dargestellt wird
- Energiekalibrierung auf den äußeren Linien des Spektrums (4785 keV, 7687 keV) durchführen
- Goldfolie in den Strahlengang schwenken, Spektrum aufnehmen (**F9**)
- Kammer belüften, Aluminiumfolie (8 µm dick) einbauen, Kammer evakuieren, Spektrum aufnehmen
- Kammer belüften, Am-241 Präparat einbauen und Messungen mit Gold- und Aluminiumfolie wiederholen, ohne die Energiekalibrierung zu verändern

### Auswertung

Aus den Spektren wird jeweils die Energie der Linien bestimmt. Der Energieverlust pro Wegstrecke in Aluminium und Gold wird über der Energie aufgetragen und mit den Ergebnissen der Bethe-Bloch Formel verglichen.

### Hinweis

Der Halbleiterdetektor ist lichtempfindlich, deshalb direkte Beleuchtung der Vakuumkammer vermeiden, um die Messergebnisse nicht zu verfälschen.

Bedingt durch die Abdeckung der Präparate ergibt sich bei der Energiekalibrierung nach Literaturwerten ein hoher Offset der Energie. Das gemessene Spektrum beginnt erst bei einer Energie von 1-2 MeV. Teilchen mit geringerer Energie werden bereits vor dem Detektor gestoppt.



## Altersbestimmung an einer Ra-226 Probe

Beispiel laden

### Sicherheitshinweis

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.

### Versuchsbeschreibung

Die relative Aktivität der Nuklide Ra-226 und Pb-210 in einer Ra-226-Probe wird bestimmt und daraus das Alter der Probe berechnet.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | VKA-Box | 524 058 |
| 1 | Ra-226-Präparat | 559430 |
| 1 | Streukammer nach Rutherford | 559 56 |
| 1 | Diskriminator-Vorverstärker | 559 93 |
| 1 | Verbindungskabel, 6polig, 1,5 m | 501 16 |
| 1 | HF-Kabel, 1 m | 501 02 |
| 1 | HF-Kabel, 0,25 m | 501 01 |
| 1 | Drehschieber-Vakuumpumpe | 378 752 |
| 1 | Kleinflansch DN 16 KF | 378 031 |
| 1 | Vakuumschlauch, d = 8 mm | 307 68 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

zusätzlich empfohlen

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Auspuff-Filter AF 1,8 | 378 764 |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Das Präparat und der Detektor werden in der Rutherford-Streukammer platziert. Der Detektor wird über das kurze HF-Kabel mit dem Diskriminator-Vorverstärker verbunden. Der Diskriminator-Vorverstärker wird mit der VKA-Box verbunden. Die Pumpe wird an die Rutherford-Streukammer angeschlossen.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Das Ra-226 Präparat wird in der Streukammer montiert
- Nach Evakuieren der Kammer wird ein Spektrum aufgenommen (**F9**)
- Verstärkung der VKA-Box dabei so verändern, dass das Spektrum die verfügbaren Kanäle ausfüllt. Dies ist typischerweise bei Verstärkungen um 5 der Fall.
- Energiekalibrierung auf den äußeren Linien des Spektrums (4785 keV, 7687 keV) durchführen

**Auswertung**

Aus den Zählraten der beobachteten Linien wird das Alter des Präparates berechnet. Die Auswertung wird dadurch erschwert, dass sich die $\alpha$-Energien von Po-210 und Rn-222 nur wenig unterscheiden und beide Nuklide daher zu einem gemeinsamen Peak beitragen (dem mittleren der Dreiergruppe). Daher wird die Zählrate des Rn-222 durch eine Geradenanpassung aus den Zählraten von Ra-226, Po-218 und Po-214 ermittelt. Aus dem Verhältnis der Zählraten von Po-210 und Ra-226 lässt sich das Alter des Präparates berechnen.

**Hinweis**

Der Halbleiterdetektor ist lichtempfindlich, deshalb direkte Beleuchtung der Vakuumkammer vermeiden, um die Messergebnisse nicht zu verfälschen.

Bedingt durch die Abdeckung der Präparate ergibt sich bei der Energiekalibrierung nach Literaturwerten ein hoher Offset der Energie. Das gemessene Spektrum beginnt erst bei einer Energie von 1-2 MeV. Teilchen mit geringerer Energie werden bereits vor dem Detektor gestoppt.

## Nachweis von γ-Strahlung mit einem Szintillationszähler (Cs-137)

❑ Beispiel laden

### Sicherheitshinweis

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.

### Versuchsbeschreibung

Es wird das γ-Spektrum des Mischpräparates (Cs-137, Am-241, Sr-90) aufgenommen und eine Energiekalibrierung anhand bekannter Linien durchgeführt.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | VKA-Box | 524 058 |
| 1 | Mischpräparat $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ | 559 84 oder aus 559 83 |
| 1 | Szintillationszähler | 559 901 |
| 1 | Detektor-Ausgangsstufe | 559 912 |
| 1 | Hochspannungsnetzgerät 1,5 kV | 521 68 |
| 1 | Sockel zum Szintillationszähler | 559 891 |
| 1 | Stativstange, 47 cm | 300 42 |
| 1 | Leybold-Muffe | 301 01 |
| 1 | Universalklemme, 0...80 mm | 666 555 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Die Ausgangsstufe des Szintillationszählers wird mit der VKA-Box und dem Hochspannungsnetzgerät verbunden. Das Präparat wird mittels Stativmaterial über dem Szintillationszähler platziert, so dass es sich einige Zentimeter oberhalb des Detektors befindet. Zum Schutz des Szintillationszählers gegen Umkippen empfiehlt es sich, den Sockel (559 891) beim Aufbau zu verwenden, der auch eine Aufnahme für die Stativstange enthält.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Hochspannungsnetzgerät auf Null stellen und einschalten.
- Messung mit **F9** starten
- Ohne Hochspannung am Szintillationszähler sollten keine Impulse gezählt werden.
- Hochspannung langsam erhöhen, bis bei einer Spannung von 700–900 V das Spektrum die verfügbaren Kanäle ausfüllt.
- Nach jeder Änderung der Hochspannung empfiehlt es sich, das gemessene Spektrum mit **F4** zu löschen, um eine Mischung von Spektren zu vermeiden. Die Messung läuft dabei weiter, und die Messzeit startet wieder neu.
- Nach Ablauf der eingestellten Messzeit stoppt die Messung.

**Auswertung**

Die beiden Isotope Cs-137 und Am-241 im Mischpräparat emittieren $\gamma$-Strahlung, die im Versuch vom Szintillationszähler registriert wird. Das Am-241 emittiert eine Linie bei 59,5 keV, das Cs-137 eine Linie bei 662 keV. Das gemessene Spektrum zeigt mehr Details zwischen diesen beiden Linien, die aufgrund der Compton-Streuung in Präparat und Detektor entstehen.

Nach der Messung ist das Spektrum noch nicht kalibriert. Um das Spektrum über der Energie darzustellen, muss eine Energiekalibrierung durchgeführt werden, dabei werden die bekannten Energien der zwei Linien im Spektrum (59,5 und 662 keV) verwendet.

**Hinweis**

Das Präparat sollte bei der Messung nicht auf dem Detektor stehen, sondern einige Zentimeter entfernt sein. Wenn das Präparat direkt aufliegt, ergibt sich eine so hohe Zählrate, dass sich die einzelnen Pulse aufaddieren. Durch diese Addition mit dem Rest des Vorgängerpulses erscheinen die Linien bei zu hoher Energie.

Der NaI(Tl) Einkristall in der Spitze des Szintillationszählers ist empfindlich gegen mechanische Beschädigung. Ebenso ist der NaI(Tl) Kristall empfindlich gegen schnelle Temperaturwechsel, wie sie z. B. beim Auspacken nach Transporten auftreten können. In beiden Fällen entstehen Risse im Einkristall, die aufgrund der Streuung zu verminderter Empfindlichkeit führen und vor allem die Energieauflösung verschlechtern.



## Aufnahme und Kalibrierung eines γ-Spektrums

Beispiel laden

**Sicherheitshinweis**

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.

**Versuchsbeschreibung**

Die γ-Spektren einiger Standardpräparate (Cs-137, Co-60, Na-22) werden gemessen und nach einer Energiekalibrierung des Szintillationszählers werden die γ-Übergänge anhand der Literaturwerte identifiziert.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | VKA-Box | 524 058 |
| 1 | Satz Radioaktive Präparate | 559 83 |
| 1 | Szintillationszähler | 559 901 |
| 1 | Detektor-Ausgangsstufe | 559 912 |
| 1 | Hochspannungsnetzgerät 1,5 kV | 521 68 |
| 1 | Sockel zum Szintillationszähler | 559 891 |
| 1 | Stativstange, 47 cm | 300 42 |
| 1 | Leybold-Muffe | 301 01 |
| 1 | Universalklemme, 0...80 mm | 666 555 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Die Ausgangsstufe des Szintillationszählers wird mit der VKA-Box und dem Hochspannungsnetzgerät verbunden. Das jeweilige Präparat wird mittels Stativmaterial über dem Szintillationszähler platziert, so dass es sich einige Zentimeter oberhalb des Detektors befindet. Zum Schutz des Szintillationszählers gegen Umkippen empfiehlt es sich, den Sockel (559 891) beim Aufbau zu verwenden.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Nacheinander die Spektren von Co-60, Na-22 und Cs-137 aufnehmen (**F9**). Es bietet sich an, mit dem Co-60 Präparat zu beginnen, da dieses die energiereichste Strahlung aussendet, so dass die Hochspannung und die Verstärkung zu Beginn passend eingeregelt werden können.
- Um die Spektren über der Energie darzustellen, muss eine Energiekalibrierung durchgeführt werden. Hierzu können beispielsweise die Linien des Na-22 bei 511 keV und 1275 keV verwendet werden.

**Auswertung**

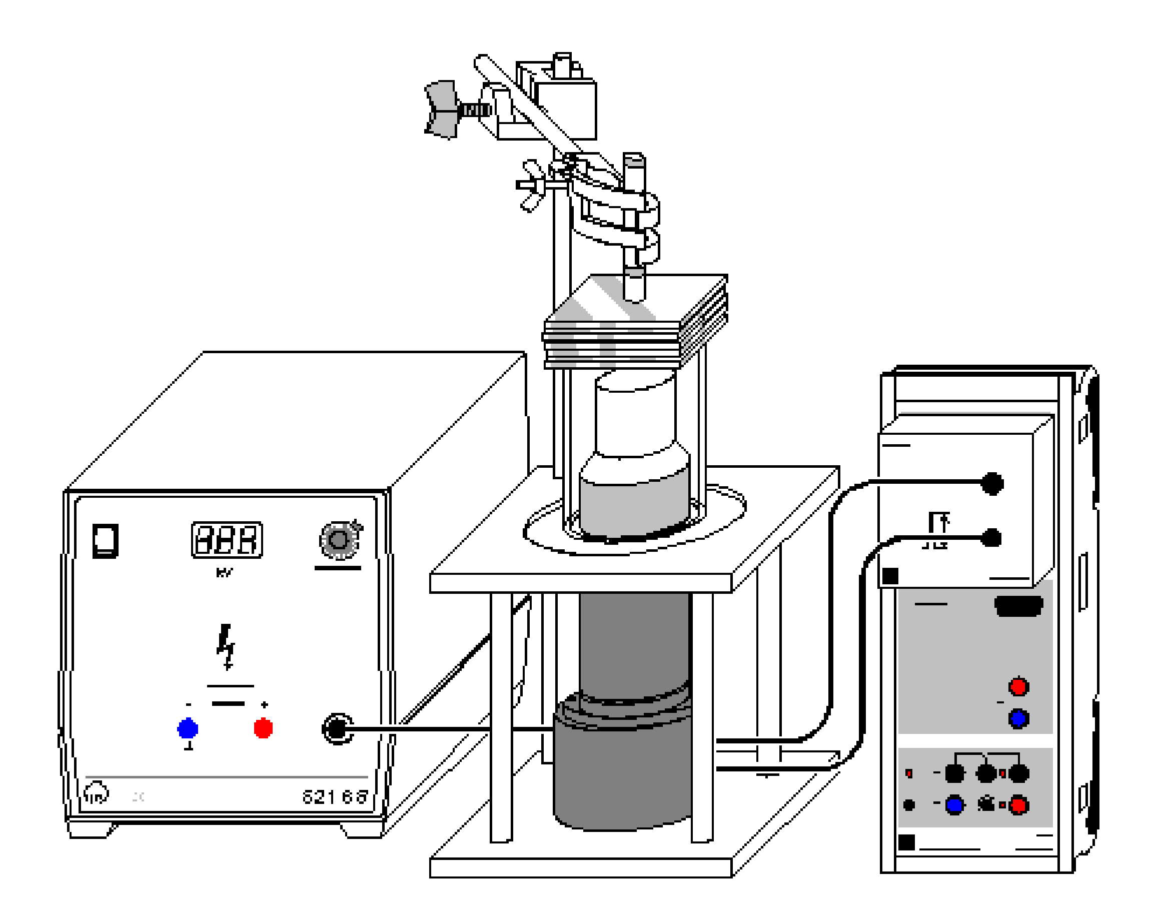
Die Energien der einzelnen Linien werden bestimmt. Hierzu kann die Funktion Gausskurven anpassen verwendet werden. Ein Vergleich mit Literaturwerten erlaubt die Identifizierung der strahlenden Isotope.

**Hinweise**

Es gibt im Internet einige Datenbanken mit den bekannten Energien aller radioaktiven Stoffe, beispielsweise unter http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/, die zur Identifikation der Strahler verwendet werden können.

Das Präparat sollte bei der Messung nicht auf dem Detektor stehen, sondern einige Zentimeter entfernt sein. Wenn das Präparat direkt aufliegt, ergibt sich eine so hohe Zählrate, dass sich die einzelnen Pulse überlappen. Durch diese Addition mit dem Rest des Vorgängerpulses erscheinen die Linien bei zu hoher Energie.

## Absorption von γ-Strahlung




Beispiel laden

### Sicherheitshinweis

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.

### Versuchsbeschreibung

Die Intensität von γ-Strahlung hinter einem Absorber wird in Abhängigkeit von der Absorberdicke gemessen. Daraus folgt die Bestätigung des Lambertschen Schwächungsgesetzes. Der lineare Schwächungskoeffizient μ und die Halbwertsdicke $d_{1/2}$ werden abgeleitet.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | VKA-Box | 524 058 |
| 1 | Satz Radioaktive Präparate | 559 83 |

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Satz Absorber und Targets | 559 94 |
| 1 | Szintillationszähler | 559 901 |
| 1 | Detektor-Ausgangsstufe | 559 912 |
| 1 | Hochspannungsnetzgerät 1,5 kV | 521 68 |
| 1 | Sockel zum Szintillationszähler | 559 891 |
| 1 | Stativstange, 47 cm | 300 42 |
| 1 | Leybold-Muffe | 301 01 |
| 1 | Universalklemme, 0...80 mm | 666 555 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Die Ausgangsstufe des Szintillationszählers wird mit der VKA-Box und dem Hochspannungsnetzgerät verbunden. Der Szintillationszähler wird im Sockel montiert und die Spitze des Szintillationszählers mit dem Plexiglasrohr umgeben. Das Präparat wird mittels Stativmaterial über dem Szintillationszähler platziert, so dass es sich einige Zentimeter oberhalb des Detektors befindet. Die Absorber werden auf das Plexiglasrohr gelegt.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Zunächst das Co-60 Präparat einspannen und das Spektrum ohne Absorber aufnehmen (**F9**), dabei die Hochspannung so einstellen, dass das Spektrum den Messbereich gut ausfüllt.
- Nacheinander die Absorber (Aluminium, Eisen, Blei) in verschiedenen Schichtdicken auf das Plexiglasrohr legen und jeweils ein Spektrum aufnehmen (**F9**).
- Die Messungen jeweils für das Cs-137 und Am-241 Präparat wiederholen.

**Auswertung**

In den Spektren werden die Zählraten unter den jeweiligen Linien bestimmt, hierzu wird die Funktion Integral berechnen verwendet. Die Zählraten werden für die einzelnen Energien und Absorber in Abhängigkeit von der Absorberdicke dargestellt. Daraus ergibt sich der lineare Schwächungskoeffizient µ und die Halbwertsdicke $d_{1/2}$.

$$I = I_0 e^{-\mu \cdot x}$$

Typische Werte für µ sind:

| E | 60 keV | 662 keV | 1253 keV |
|---|---|---|---|
| Al | 0,51 1/cm | 0,16 1/cm | 0,13 1/cm |
| Fe | 7,4 1/cm | 0,43 1/cm | 0,36 1/cm |
| Pb | | 0,86 1/cm | 0,55 1/cm |

**Hinweis**

Der NaI(Tl) Einkristall in der Spitze des Szintillationszählers ist empfindlich gegen mechanische Beschädigung. Vorsicht beim Auflegen der Absorber.

Es entstehen sonst Risse im Einkristall, die aufgrund der Streuung zu verminderter Empfindlichkeit führen und vor allem die Energieauflösung verschlechtern.

# Identifizierung und Aktivitätsbestimmung von schwach radioaktiven Proben

Beispiel laden

## Sicherheitshinweis

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.

## Versuchsbeschreibung

Die Nachweiswahrscheinlichkeit des Szintillationszählers wird mittels Kalibrierpräparaten bei verschiedenen γ-Energien bestimmt. Das γ-Spektrums einer schwach radioaktiven Probe wird aufgenommen und die radioaktiven Bestandteile in der Probe ermittelt.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | VKA-Box | 524 058 |
| 2 | Marinelli-Becher | 559 88 |
| 1 | Kalibrierpräparat Cs-137, 5kBq | 559 885 |
| 4 | Kaliumchlorid, 250 g | 672 521 |
| 1 | Szintillationszähler | 559 901 |
| 1 | Detektor-Ausgangsstufe | 559 912 |
| 1 | Hochspannungsnetzgerät 1,5 kV | 521 68 |
| 1 | Szintillationszähler-Abschirmung | 559 89 |
| 1 | Sockel zum Szintillationszähler | 559 891 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Die Ausgangsstufe des Szintillationszählers wird mit der VKA-Box und dem Hochspannungsnetzgerät verbunden und in den Sockel gestellt. Der Szintillationszähler wird von oben in den Sockel mit Bleiabschirmung eingebaut. Das Präparat wird im Marinellibecher über dem Szintillationszähler platziert.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Ein Marinellibecher wird mit 1 kg Kaliumchlorid gefüllt und über dem Szintillationszähler platziert.
- Spektrum aufnehmen (**F9**), dabei durch Variation der Hochspannung den Messbereich gut ausnutzen.
- Marinellibecher entnehmen und Kalibrierpräparat Cs-137 einsetzen
- Spektrum aufnehmen
- Anhand der Linien in den beiden Spektren bei 1460 keV und 662 keV kann eine Energiekalibrierung durchgeführt werden.
- Präparat entfernen
- Probensubstanz gleichmäßig in einem Marinellibecher verteilen, diesen über dem Szintillationszähler platzieren und das Spektrum der Probe aufnehmen.
- Nullmessung / Untergrundmessung durchführen, ohne Präparat, mit der gleichen Messzeit wie bei der Probe.

**Auswertung**

Für das Kaliumchlorid (17 kBq/kg) und das Cs-137 Kalibrierpräparat (ca. 5 kBq, siehe Kalibrierzertifikat, Halbwertszeit beachten) sind die Aktivitäten bekannt. Aus der integralen Zählrate unter der Linie im jeweiligen Spektrum lässt sich so die Nachweiswahrscheinlichkeit des Szintillationszählers bei 1460 keV und 662 keV in dieser Geometrie bestimmen.

Das Untergrundspektrum wird vom Spektrum der Probe subtrahiert. Aus dem resultierenden Spektrum und der vorher bestimmten Nachweiswahrscheinlichkeit lässt sich die radioaktive Belastung der Probe ermitteln. Anhand der beobachteten Energien kann das strahlende Isotop in der Probe ermittelt werden und mit den soeben bestimmten Nachweiswahrscheinlichkeiten auch die Menge abgeschätzt werden.

**Hinweise**

Der NaI(Tl) Einkristall in der Spitze des Szintillationszählers ist empfindlich gegen mechanische Beschädigung. Vorsicht beim Einsetzen der Marinelli-Becher.

Bei Messungen an stark strahlenden Proben die Anzeige der Totzeit beachten, gegebenenfalls verdünnen.



## Aufnahme eines β-Spektrums mit einem Szintillationszähler

Beispiel laden

### Sicherheitshinweis

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.

### Versuchsbeschreibung

Das β-Spektrum von Sr-90 wird mit einem Szintillationszähler aufgenommen. Der Energieverlust pro Wegstrecke dE/dx der β-Teilchen in Aluminiumabsorbern wird gemessen.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | VKA-Box | 524 058 |
| 1 | Satz Radioaktive Präparate | 559 83 |
| 1 | Satz Absorber und Targets | 559 94 |
| 1 | Szintillationszähler | 559 901 |
| 1 | Detektor-Ausgangsstufe | 559 912 |
| 1 | Hochspannungsnetzgerät 1,5 kV | 521 68 |
| 1 | Szintillationszähler-Abschirmung | 559 89 |
| 1 | Sockel zum Szintillationszähler | 559 891 |
| 1 | Stativstange, 47 cm | 300 42 |
| 1 | Leybold-Muffe | 301 01 |
| 1 | Universalklemme, 0...80 mm | 666 555 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Die Ausgangsstufe des Szintillationszählers wird mit der VKA-Box und dem Hochspannungsnetzgerät verbunden und in den Sockel gestellt. Der Szintillationszähler wird von oben in den Sockel mit Bleiabschirmung eingebaut. Das Plexiglasrohr wird innerhalb der Bleiabschirmung über den Szintillationszähler gestellt. Das Präparat wird mittels Stativmaterial einige Zentimeter über dem Szintillationszähler platziert. Die Absorberplatten werden auf das Plexiglasrohr gelegt, so dass sie sich zwischen Detektor und Präparat befinden.

**Versuchsdurchführung**

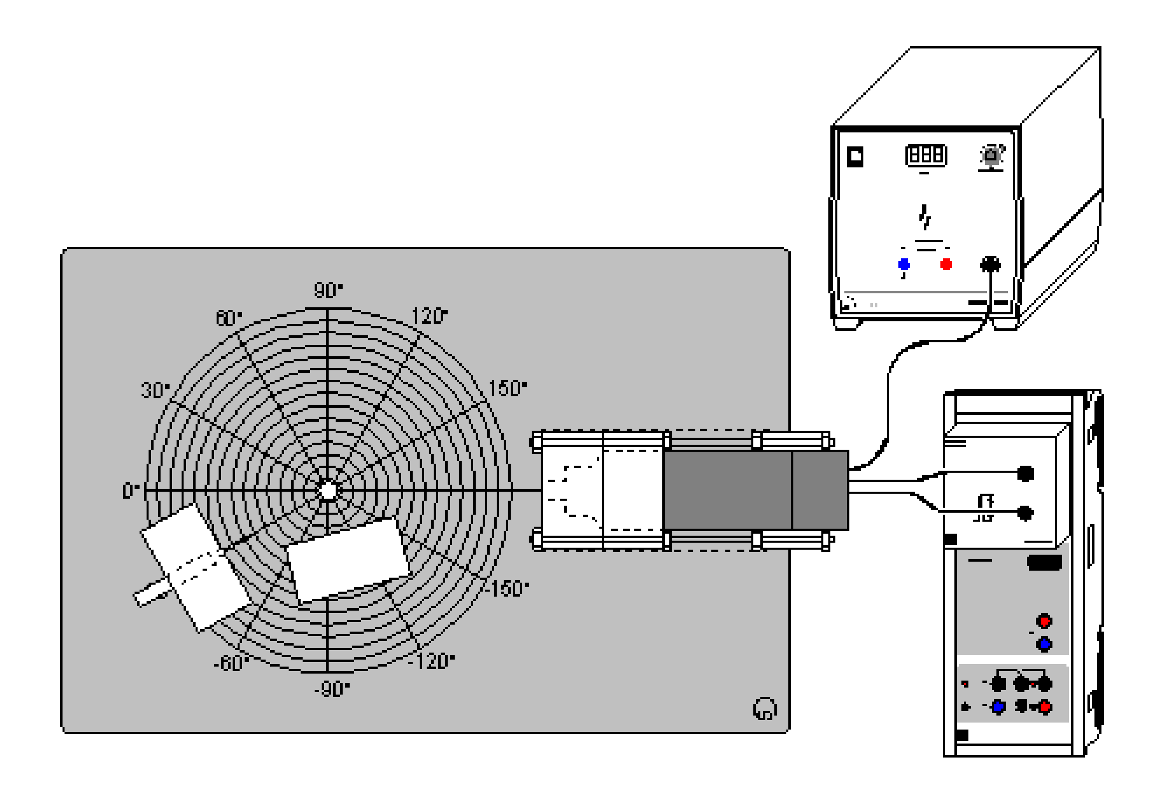
- Einstellungen laden
- Sr-90 Präparat einbauen und dass Spektrum aufnehmen (**F9**). Dabei die Hochspannung am Detektor so einstellen, dass das Spektrum auf der rechten Seite nicht abgeschnitten wird.
- Zur Energiekalibrierung das Na-22 Präparat einbauen und die Energieachse anhand der 511 keV und 1275 keV Linien kalibrieren. Das Sr-90 Spektrum erstreckt sich bis ca. 2000 keV
- Eventuell den Untergrund ohne Präparat bestimmen.
- Wieder das Sr-90 Präparat einbauen, dabei darauf achten, das genug Platz unter dem Präparat für die Absorber zur Verfügung steht.
- Nacheinander Spektren ohne Absorber, mit 0,5 mm Aluminium als Absorber, 1 mm Aluminium, usw. bis 3 mm Aluminium aufnehmen.

**Auswertung**

Durch die Aluminium-Absorber verringert sich die maximale Energie der Elektronen, die in den Detektor gelangen. Aus den Sr-90 Spektren wird jeweils die höchste Energie bestimmt, bei der noch Elektronen detektiert werden. Diese Energien werden in einer Tabelle gegen die Dicke des Absorbers aufgetragen. Die Steigung der Ausgleichsgeraden ergibt den Energieverlust pro Wegstrecke dE/dx, hier etwa 400 – 450 keV/mm.



## Quantitative Beobachtung des Compton-Effekts




Beispiel laden

### Sicherheitshinweis

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.

### Versuchsbeschreibung

Der Szintillationszähler wird energiekalibriert. Die energetische Verteilung der in einem Aluminiumstreuer gestreuten $\gamma$-Quanten wird für verschiedene Winkel zwischen Quelle und Detektor aufgenommen. Daraus folgt die quantitative Bestätigung des Compton-Effektes.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | VKA-Box | 524 058 |
| 1 | Mischpräparat $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ | 559 84 oder aus 559 83 |
| 1 | Gerätesatz Comptonstreuung | 559 800 |
| 1 | Cs-137-Präparat, 3,7 MBq | 559 809 |
| 1 | Szintillationszähler | 559 901 |
| 1 | Detektor-Ausgangsstufe | 559 912 |

1 Hochspannungsnetzgerät 1,5 kV 521 68
1 Szintillationszähler-Abschirmung 559 89
1 Sockel zum Szintillationszähler 559 891
1 PC ab Windows 95/98/NT

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Die Ausgangsstufe des Szintillationszählers wird mit der VKA-Box und dem Hochspannungsnetzgerät verbunden. Die Experimentierplatte aus dem Gerätesatz Comptonstreuung wird ausgelegt und die Bleiabschirmungen entsprechend aufgestellt.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Zunächst wird der Szintillationszähler energiekalibriert, dazu das Mischpräparat in den Probenhalter des Gerätesatzes Comptonstreuung schieben und auf der 0° Markierung ausrichten, keinen Aluminiumstreuer aufstellen
- Spektrum aufnehmen (**F9**) und mittels der Linien bei 662 keV und 59,5 keV eine Energiekalibrierung durchführen
- Mischpräparat gegen das Cs-137 Präparat austauschen, das Präparat bei 10° aufstellen und den Aluminiumstreuer aufstellen. Die Zusatzabschirmung in die direkte Sichtlinie zwischen Präparat und Detektor stellen
- Spektrum aufnehmen (**F9**), dann Aluminiumstreuer entfernen und erneut ein Spektrum aufnehmen
- Die Differenz beider Spektren (mit und ohne Aluminiumstreuer) ergibt das Streuspektrum
- Die Messung bei verschiedenen Winkeln des Präparates wiederholen, jeweils ein Spektrum mit Aluminiumstreuer und ein Spektrum ohne subtrahieren. Beim Aufbau die Zusatzabschirmung entsprechend verschieben, so dass die direkte Sichtlinie Präparat – Detektor blockiert ist

**Auswertung**

Aus den Streuspektren (Differenz mit und ohne Aluminiumstreuer) wird die Energie der gestreuten γ-Quanten bestimmt und über dem zugehörigen Winkel aufgetragen und mit dem theoretischen Wert

$$E'_\gamma = E_\gamma \Big/ \left(1 + \frac{E_\gamma}{m_0 c^2}(1 - \cos\Theta)\right)$$

verglichen.

Alternativ kann auch eine Freie Anpassung versucht werden.



## Aufnahme des komplexen γ-Spektrums von Ra-226 und seinen Zerfallsprodukten

Beispiel laden

### Sicherheitshinweis

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.

### Versuchsbeschreibung

Das komplexe Spektrum von Ra-226 und seinen Folgeprodukten wird aufgenommen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | VKA-Box | 524 058 |
| 1 | Mischpräparat α, β, γ | 559 84 oder aus 559 83 |
| 1 | Ra-226-Präparat | 559 430 |
| 1 | Szintillationszähler | 559 901 |
| 1 | Detektor-Ausgangsstufe | 559 912 |
| 1 | Hochspannungsnetzgerät 1,5 kV | 521 68 |
| 1 | Szintillationszähler-Abschirmung | 559 89 |
| 1 | Sockel zum Szintillationszähler | 559 891 |
| 1 | Stativstange, 47 cm | 300 42 |
| 1 | Leybold-Muffe | 301 01 |
| 1 | Universalklemme, 0...80 mm | 666 555 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Die Ausgangsstufe des Szintillationszählers wird mit der VKA-Box und dem Hochspannungsnetzgerät verbunden. Das Präparat wird mittels Stativmaterial über dem Szintillationszähler platziert, so dass es sich einige Zentimeter oberhalb des Detektors befindet.

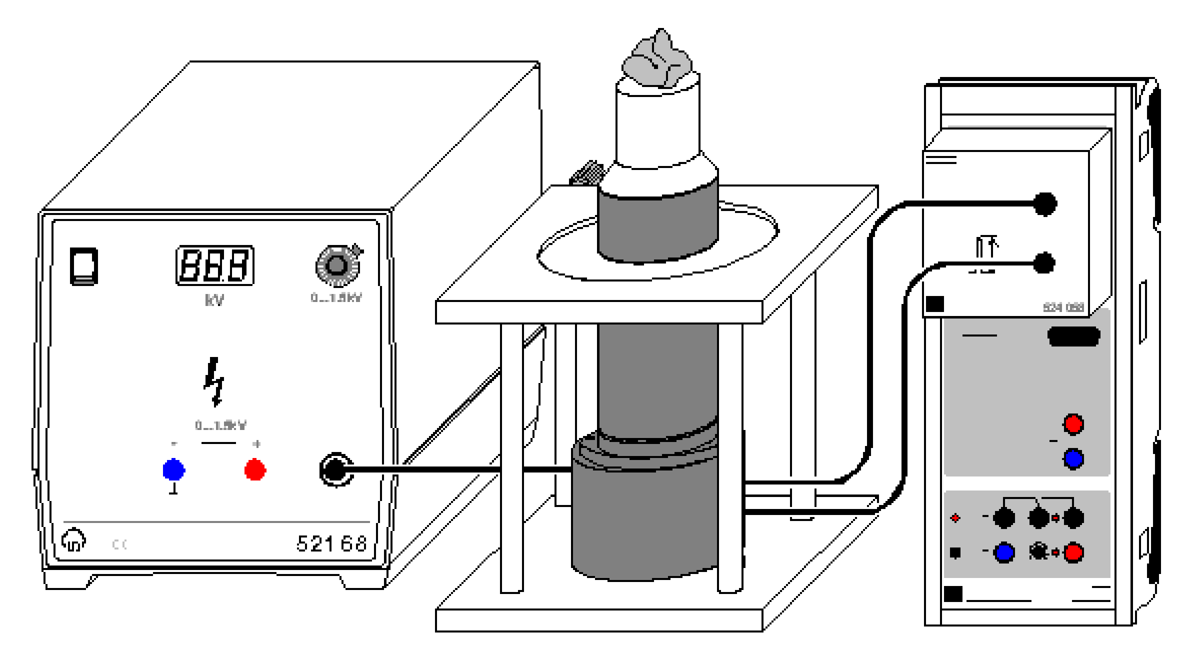
### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Zur Energiekalibrierung das Mischpräparat über dem Detektor anbringen, Spektrum aufnehmen (**F9**) und anhand der Linien bei 662 keV und 59,5 keV kalibrieren.
- Das Mischpräparat entfernen und das Ra-226 Präparat anbringen. Spektrum aufnehmen

### Auswertung

Anhand der Literaturwerte oder auch von Internetadressen wie http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/ werden die gemessenen Linien den einzelnen Isotopen der Radium-Zerfalsskette zugeordnet.

## Aufnahme des komplexen γ-Spektrums eines Glühstrumpfes




Beispiel laden

### Sicherheitshinweis

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.

### Versuchsbeschreibung

Das komplexe γ-Spektrum von Th-232 und seinen Zerfallsprodukten wird aufgenommen. Die Verwendung radioaktiver Substanzen in älteren Haushaltswaren wird nachgewiesen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | VKA-Box | 524 058 |
| 1 | Mischpräparat α, β, γ | 559 84 oder aus 559 83 |
| 1 | Glühstrumpf | aus 588 855 |
| 1 | Szintillationszähler | 559 901 |
| 1 | Detektor-Ausgangsstufe | 559 912 |
| 1 | Hochspannungsnetzgerät 1,5 kV | 521 68 |
| 1 | Szintillationszähler-Abschirmung | 559 89 |
| 1 | Sockel zum Szintillationszähler | 559 891 |
| 1 | Stativstange, 47 cm | 300 42 |
| 1 | Leybold-Muffe | 301 01 |
| 1 | Universalklemme, 0...80 mm | 666 555 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Die Ausgangsstufe des Szintillationszählers wird mit der VKA-Box und dem Hochspannungsnetzgerät verbunden. Das Präparat wird mittels Stativmaterial über dem Szintillationszähler platziert oder einfach auf den Detektor gelegt.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Zur Energiekalibrierung das Mischpräparat über dem Detektor anbringen, Spektrum aufnehmen (**F9**) und anhand der Linien bei 662 keV und 59,5 keV kalibrieren.
- Das Mischpräparat entfernen und den Glühstrumpf (Th-232) anbringen. Spektrum aufnehmen

### Auswertung

Anhand der Literaturwerte oder auch von Internetadressen wie http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata/toi/ werden die gemessenen Linien den einzelnen Isotopen der Thorium-Zerfalsskette zugeordnet.

### Hinweise

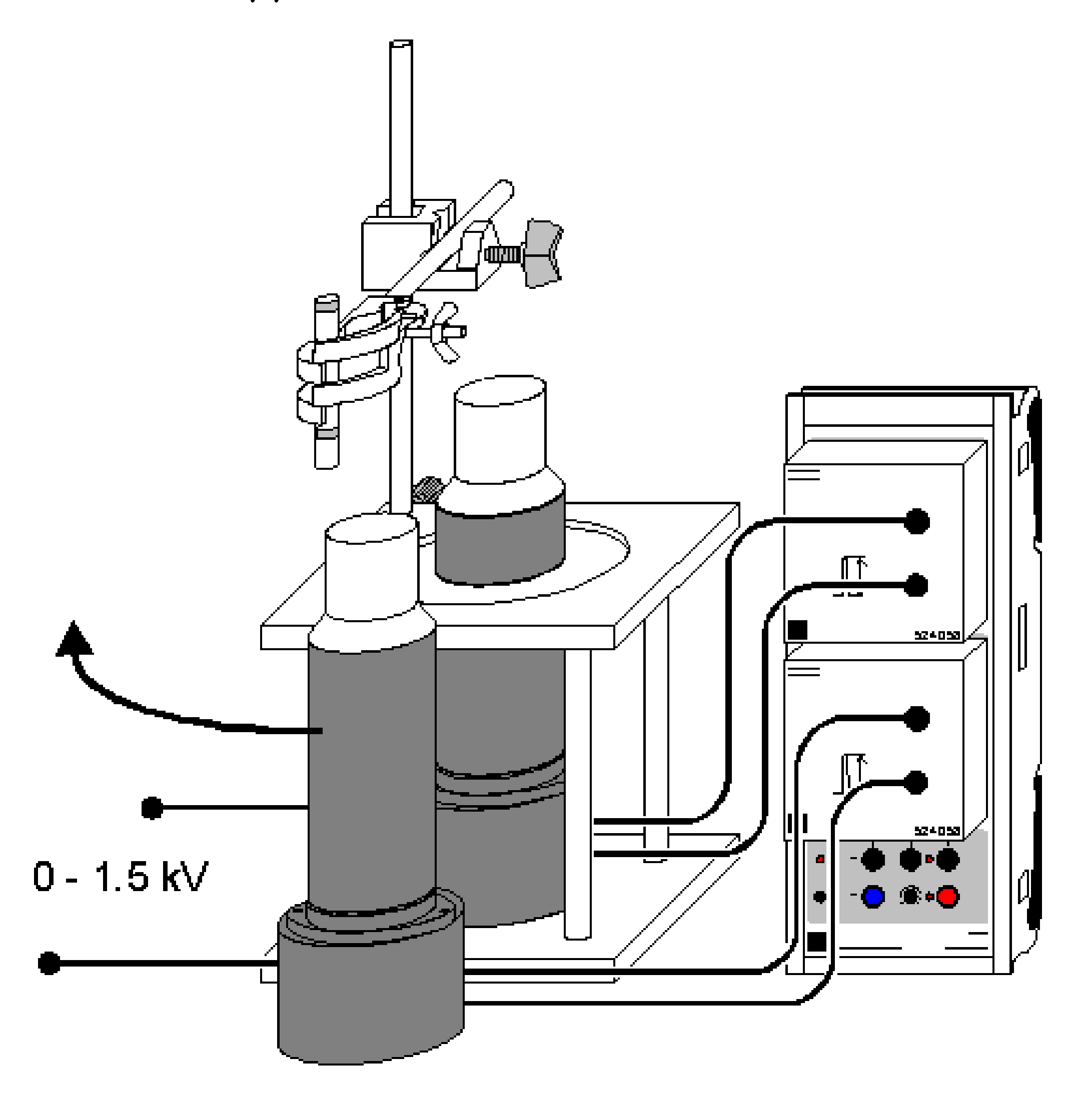
Neuere Glühstrümpfe enthalten kein Thorium mehr, sondern Yttrium.

Im Laufe der ersten Jahre nach Herstellung ändert sich die Intensität einzelner Linien, da sich das radioaktive Gleichgewicht neu einstellen muss. Insbesondere verhält sich die Intensität der Linien bei 338 und 911 keV (Zerfall von Ac-228 zu Th-228) anders als die restlichen Linien. Auch die $K_\alpha$-Linien werden dadurch beeinflusst.

Aufgrund der Staubentwicklung möglichst keine bereits in einer Lampe entzündeten Glühstrümpfe verwenden.



## Koinzidenz und γ-γ-Winkelkorrelation beim Zerfall von Positronen




Beispiel laden

**Sicherheitshinweis**

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.

**Versuchsbeschreibung**

Die räumliche Koinzidenz der beiden γ-Quanten einer Elektron-Positron Paarvernichtung wird demonstriert. Die Impulserhaltung erfordert eine Emission der beiden Quanten unter 180°, die anschaulich gezeigt wird. Die selektive Messung eines Koinzidenz-Spektrums bringt eine Unterdrückung nicht korrelierter Linien.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 2 | VKA-Box | 524 058 |
| 1 | Satz Radioaktive Präparate | 559 83 |
| 2 | Szintillationszähler | 559 901 |
| 2 | Detektor-Ausgangsstufen | 559 912 |
| 2 | Hochspannungsnetzgeräte 1,5 kV | 521 68 |
| 2 | Sockel zum Szintillationszähler | 559 891 |
| 1 | Stativstange, 47 cm | 300 42 |
| 1 | Leybold-Muffe | 301 01 |
| 1 | Universalklemme, 0...80 mm | 666 555 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Die Ausgangsstufen der Szintillationszähler werden mit den VKA-Boxen und dem Hochspannungsnetzgerät / den Hochspannungsnetzgeräten verbunden. Beide VKA-Boxen müssen auf demselben CASSY stecken. Das Präparat wird mittels Stativmaterial neben einem Szintillationszähler platziert, so dass der andere Detektoren darum herum bewegt werden kann, um so verschiedene Winkel Detektor 1 – Präparat – Detektor 2 einstellen zu können.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Zunächst mit jeweils einem Detektor das normale Na-22 Spektrum aufnehmen. Einen der beiden Detektoren kalibrieren.
- Koinzidenz-Modus auswählen, dabei das Spektrum mit dem kalibrierten Detektor messen, das Koinzidenzfenster des anderen Detektors wird auf die 511 keV Linie eingestellt.
- Den beweglichen Detektor so stellen, dass das Präparat zwischen den Detektoren steht. Koinzidenzspektrum aufnehmen
- Den beweglichen Detektor so stellen, dass er senkrecht zur Verbindungslinie Präparat – anderer Detektor steht. Koinzidenzspektrum aufnehmen.
- Eventuell Koinzidenzspektren bei Zwischenwinkeln aufnehmen
- Cs-137 Präparat gemeinsam mit dem Na-22 Präparat zwischen den Detektoren befestigen, den beweglichen Detektor so stellen, dass die Präparate zwischen den Detektoren stehen. Koinzidenzspektrum aufnehmen
- normales VKA-Spektrum in dieser Anordnung aufnehmen
- Das Cs-137 Präparat wieder entfernen, das Koinzidenzfenster auf die 1275 keV Linie einstellen und ein Koinzidenzspektrum unter 180° und unter 90° aufnehmen.

**Auswertung**

Das normale Na-22 Spektrum besteht aus einer Linie bei 1275 keV und der Paarvernichtungs-Strahlung bei 511 keV. Die beiden 511 keV Quanten sind zeitlich und räumlich (Emission unter 180°) korreliert, die 1275 keV Quanten sind zeitlich mit den 511 keV Quanten korreliert, da die Verzögerung von 3,7 ps in diesem Aufbau nicht detektiert werden kann. Räumlich ist die Emission nicht korreliert.

Im normalen VKA-Spektrum sind beide Linien sichtbar, unter 180° Koinzidenz ist die 511 keV Linie deutlich hervorgehoben, da die anderen Bestandteile des Spektrums (1275 keV Linie, Compton-Verteilung) zwar zeitlich, aber nicht räumlich korreliert sind und so gegenüber der räumlich korrelierten 511 keV Linie um den Raumwinkel des zweiten Detektors abgeschwächt werden. Die absolute Zählrate der 511 keV Linie sinkt dabei entsprechend der Nachweiswahrscheinlichkeit des zweiten Detektors.

Dreht man den Detektor nun aus der 180° Richtung heraus, so verschwindet die 511 keV Linie, während die räumlich unkorrelierten Bestandteile erhalten bleiben.

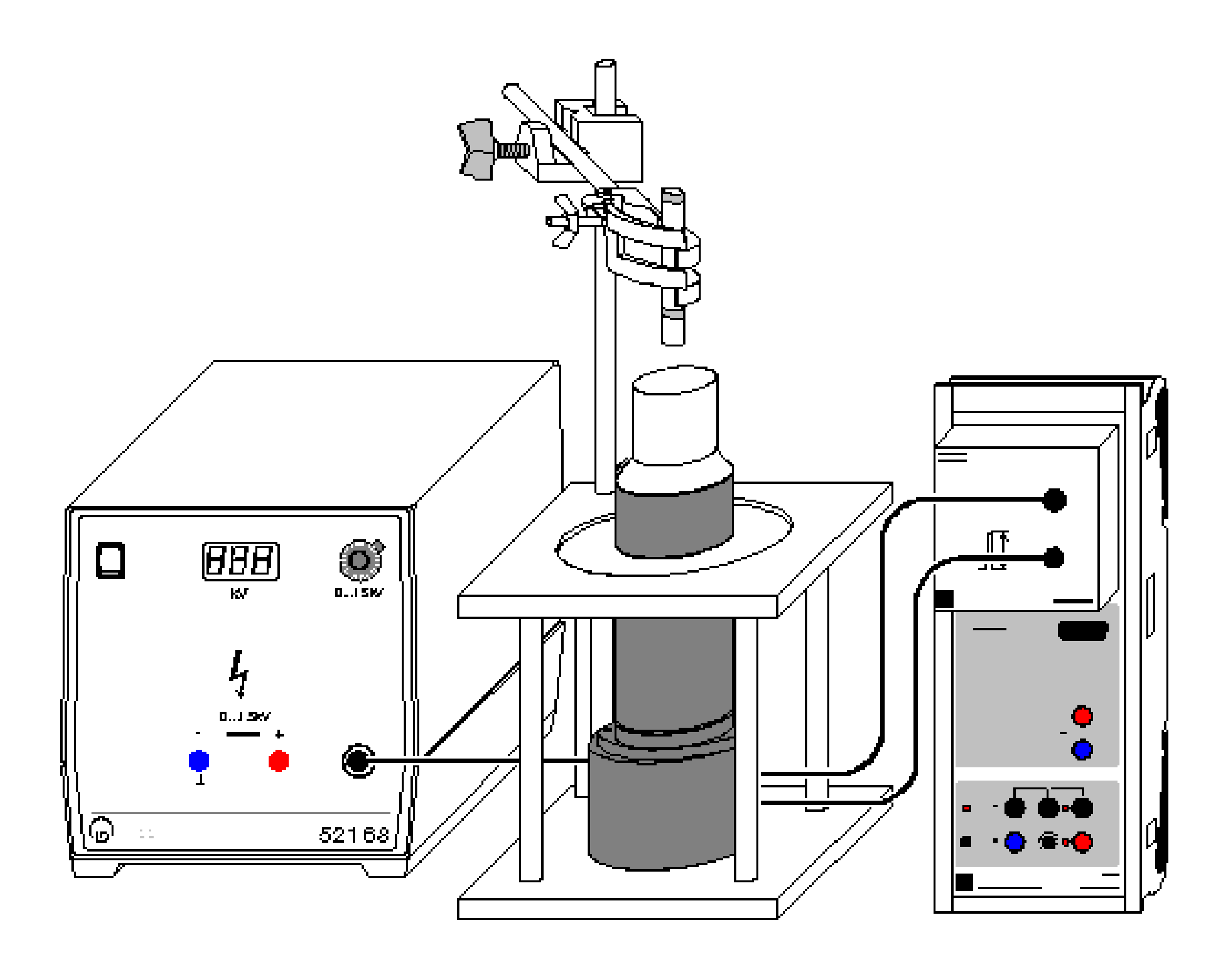
Um die Unterdrückung zeitlich nicht korrelierter Quanten zu demonstrieren, werden zwei Präparate gleichzeitig verwendet. Das Cs-137 liefert dabei einen nicht korrelierten Untergrund, der in Koinzidenz nur aufgrund zufälliger Koinzidenzen sichtbar ist, ohne Koinzidenz-Messung aber deutlich sichtbar ist.

Bei Messungen in Koinzidenz zur 1275 keV Linie entfällt die räumliche Koinzidenz, die Spektren zu verschiedenen Winkeln sehen gleich aus. Da es nur ein 1275 keV γ-Quant pro Zerfall gibt, ist in Koinzidenz auch keine 1275 keV Linie zu beobachten.

### Hinweis

Das Zeitfenster für Koinzidenzen ist fest vorgegeben und beträgt 4 µs.

## Messungen mit dem Einkanal-Analysator




Beispiel laden

### Sicherheitshinweis

Beim Umgang mit radioaktiven Präparaten sind länderspezifische Auflagen zu beachten, in der Bundesrepublik Deutschland z. B. die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV). Die im Versuch verwandten radioaktiven Stoffe sind nach StrlSchV für den Unterricht an Schulen bauartzugelassen. Da sie ionisierende Strahlung erzeugen, müssen beim Umgang dennoch folgende Sicherheitsregeln befolgt werden:

- Präparate vor dem Zugriff **Unbefugter** schützen.
- Vor Benutzung Präparate auf **Unversehrtheit** überprüfen.
- Zur **Abschirmung** Präparate im Schutzbehälter aufbewahren.
- Zur Gewährleistung einer **möglichst kurzen Expositionszeit** und einer **möglichst geringen Aktivität** Präparate nur zur Durchführung des Experiments aus dem Schutzbehälter nehmen.
- Zur Sicherstellung eines **möglichst großen Abstandes** Präparate nur am oberen Ende des Metallhalters anfassen.

### Versuchsbeschreibung

Um den Zeitvorteil bei Messungen mit einem Vielkanal-Analysator zu demonstrieren wird eine Messung im VKA-Modus durchgeführt und zum Vergleich eine im Einkanal-Modus.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | VKA-Box | 524 058 |
| 1 | Mischpräparat $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ | 559 84 oder aus 559 83 |



| | | |
|---|---|---|
| 1 | Szintillationszähler | 559 901 |
| 1 | Detektor-Ausgangsstufe | 559 912 |
| 1 | Hochspannungsnetzgerät 1,5 kV | 521 68 |
| 1 | Sockel zum Szintillationszähler | 559 891 |
| 1 | Stativstange, 47 cm | 300 42 |
| 1 | Leybold-Muffe | 301 01 |
| 1 | Universalklemme, 0...80 mm | 666 555 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Die Ausgangsstufe des Szintillationszählers wird mit der VKA-Box und dem Hochspannungsnetzgerät verbunden. Das Präparat wird mittels Stativmaterial über dem Szintillationszähler platziert, so dass es sich einige Zentimeter oberhalb des Detektors befindet.

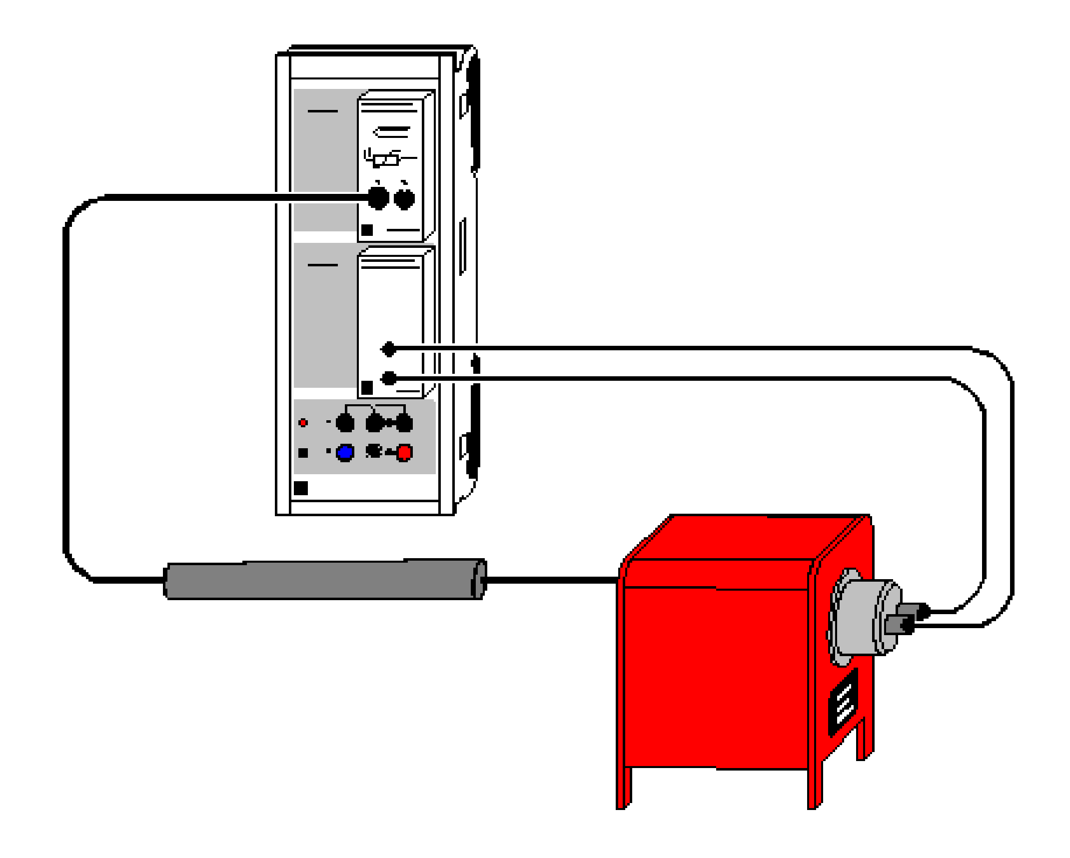
### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Messung im VKA-Modus starten (**F9**)
- Messung im Einkanal-Modus starten, dabei beispielsweise mit gleicher Gesamtmesszeit arbeiten, oder mit gleicher Messzeit pro Punkt.

### Auswertung

Die parallele Messung aller Kanäle zeigt deutliche Zeitvorteile gegenüber der sequentiellen Messung einzelner Kanäle. Dieser Zeitvorteil wandelt sich bei gleicher Messzeit in einen Gewinn an Auflösung oder Signal/Rausch-Verhältnis.

## Elektrische Leitung in Festkörpern



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Ein einfacher Test für Modelle zur elektrischen Leitfähigkeit von Leitern und Halbleitern ist die Untersuchung der Temperaturabhängigkeit des Widerstands R. In elektrischen Leitern nimmt R bei steigender Temperatur zu, da die Stöße der quasi-freien Elektronen aus dem Leitungsband mit den Atomrümpfen des Leiters eine immer größere Rolle spielen. In Halbleitern dagegen nimmt der Widerstand mit steigender Temperatur ab, weil immer mehr Elektronen aus dem Valenzband in das Leitungsband gelangen und zur Leitfähigkeit beitragen.

Im Versuch werden die Widerstandswerte eines Edelmetallwiderstands und eines Halbleiterwiderstands in Abhängigkeit von der Temperatur gemessen. Für den Edelmetallwiderstand wird im untersuchten Temperaturbereich in guter Näherung der Zusammenhang

$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \vartheta)$ ($R_0$: Widerstand bei $\vartheta$ = 0 °C)

bestätigt. Für den Halbleiter ergibt die Auswertung eine Abhängigkeit der Form

$R \sim e^{(\Delta E/2kT)}$ ($k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K: Boltzmann-Konstante)

mit dem Bandabstand $\Delta E$.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Stromquellen-Box | 524 031 |
| 1 | Temperatur-Box | 524 045 |
| 1 | Temperaturfühler NiCr-Ni | 666 193 |
| 1 | Edelmetallwiderstand | 586 80 |
| 1 | Halbleiterwiderstand | 586 82 |
| 1 | Elektrischer Rohrofen, 230 V | 555 81 |

1 Sicherheitsanschlussdose 502 061
2 Kabel, 100 cm, schwarz 500 444
1 PC ab Windows 95/98/NT

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Die Temperatur des Fühlers im Rohrofen wird von der Temperatur-Box auf Eingang A des Sensor-CASSYs gemessen. Dabei die Messspitze so in die rückwärtige Bohrung des Ofens einführen, dass sich die Messspitze in unmittelbarer Nähe des Widerstandselements befindet. Der elektrische Widerstand wird von der Stromquellen-Box auf Eingang B erfasst.

**Versuchsdurchführung**

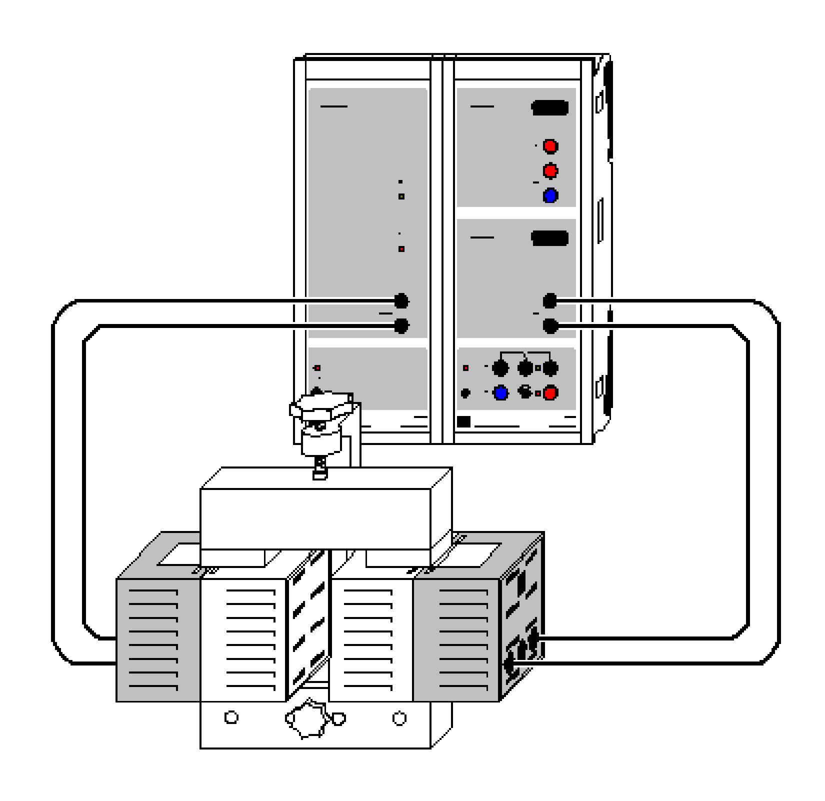
- Einstellungen laden
- Messung mit **F9** starten (alle 5 K Temperaturerhöhung wird ein Messwertpaar aufgenommen)
- Heizung des Rohrofens einschalten
- Nach Erreichen einer Temperatur von max. 470 K (ca. 200 °C) Messung mit **F9** stoppen
- Rohrofen wieder ausschalten und Widerstand herausnehmen
- Nach Abkühlung des Rohrofens kann die Messung mit einem anderen Widerstand wiederholt werden

**Auswertung**

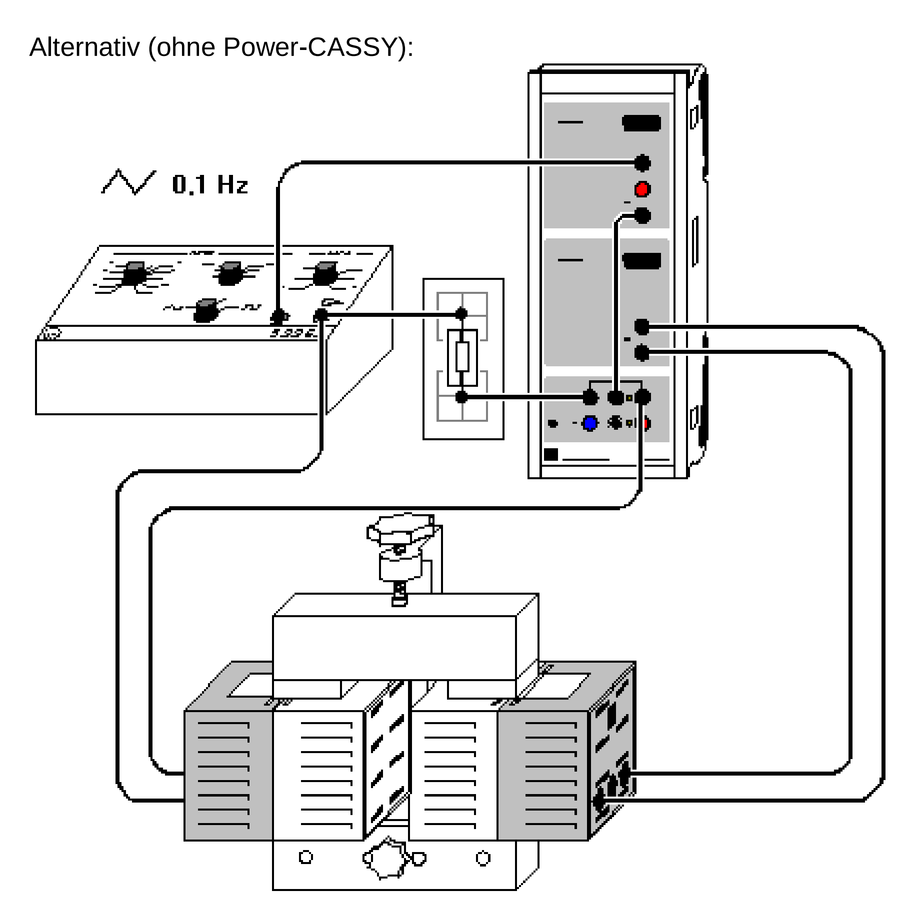
Bei Verwendung des Edelmetallwiderstands (Platin) ergibt sich eine lineare Widerstandserhöhung bei steigender Temperatur. Der Temperaturkoeffizient $\alpha$ des Widerstands lässt sich leicht aus einer Geradenanpassung bestimmen. Im Beispiel ergibt sich eine Widerstandserhöhung von 0,407 Ω/K und ein Widerstand von 100 Ω bei 0 °C, also $\alpha$ = 0,00407 /K. Dies deckt sich gut mit dem Literaturwert $\alpha$ = 0,00392 /K für Platin.

Der Halbleiterwiderstand nimmt bei steigender Temperatur nicht linear ab. Eine Exponentialanpassung in der 1/T-Darstellung (mit der Maus anklicken) bestätigt den oben angegebenen Zusammenhang R ~ e^(ΔE/2kT) für höhere Temperaturen T. Im Beispiel ergibt sich dort für den verwendeten Halbleiter 2k/ΔE = 0,000368 /K, also ΔE = 7,5·10^-20 J = 0,47 eV (1 eV = 1,602·10^-19 J).

## Hysterese von Trafoeisen



Alternativ (ohne Power-CASSY):




- Beispiel laden (mit Power-CASSY)
- Beispiel laden (ohne Power-CASSY)

**Versuchsbeschreibung**

In einem Transformatorkern (Ferromagnet) ist das magnetische Feld

$H = N1/L \cdot I$

proportional zum Spulenstrom I und der effektiven Windungsdichte N1/L der Primärspule. Die erzeugte magnetische Flussdichte oder magnetische Induktion

$B = \mu r \cdot \mu 0 \cdot H$ (mit $\mu 0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am)

ist aber nicht proportional zu H. Vielmehr erreicht sie bei steigendem Magnetfeld H einen Sättigungswert Bs. Die Permeabilitätszahl µr des Ferromagneten hängt von der Magnetfeldstärke H und außerdem von der magnetischen Vorbehandlung des Ferromagneten ab. Bei einem entmagnetisierten Ferromagneten ist für H=0 A/m auch die magnetische Feldstärke B = 0 T. Normalerweise behält ein Ferromagnet bei H = 0 A/m aber noch eine restliche magnetische Flussdichte B ungleich 0 T (Remanenz).

Es ist daher üblich, die magnetische Induktion B in einer Hysteresekurve als Funktion steigender und fallender Feldstärke H darzustellen. Die Hysteresekurve unterscheidet sich von der sogenannten Neukurve, die im Ursprung des Koordinatensystems beginnt und nur bei vollständig entmagnetisiertem Material zu messen ist (H = 0 A/m, B = 0 T).

Im vorliegenden Beispiel werden H und B nicht direkt gemessen, sondern es werden statt dessen die dazu proportionalen Größen Primärstrom $I = L/N1 \cdot H$ und magnetischer Fluss $\Phi = N2 \cdot A \cdot B$ durch die Sekundärspule (N2: Windungszahl der Sekundärspule; A: Querschnitt des Ferromagneten) verwendet. Der magnetische Fluss Φ wird als Integral der in der Sekundärspule induzierten Spannung U berechnet.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Power-CASSY | 524 011 |
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | U-Kern mit Joch | 562 11 |
| 1 | Spannvorrichtung | 562 12 |
| 2 | Spulen mit 500 Windungen | 562 14 |
| 4 | Kabel, 100 cm, schwarz | 500 444 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Alternativ (ohne Power-CASSY)**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | U-Kern mit Joch | 562 11 |
| 1 | Spannvorrichtung | 562 12 |
| 2 | Spulen mit 500 Windungen | 562 14 |
| 1 | Funktionsgenerator S12 | 522 62 |
| 1 | Transformator, 12 V~ | 562 73 |
| 1 | STE Widerstand 1 Ω, 2 W | 577 19 |
| 1 | Steckplattensegment | 576 71 |
| 1 | Kabel, 50 cm, schwarz | 500 424 |
| 7 | Kabel, 100 cm, schwarz | 500 444 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Der Strom der Primärspule des Transformators liefert das Power-CASSY. Der magnetische Fluss Φ wird aus der Induktionsspannung U der Sekundärspule, die von Eingang B des Sensor-CASSYs gemessen wird, berechnet.

Alternativ kann das Experiment auch ohne Power-CASSY unter Verwendung des Funktionsgenerators S12 durchgeführt werden. Dieser ist auf Dreieck, Frequenz etwa 0,1 Hz und Amplitude etwa 2 V einzustellen. Zur Aufnahme der Neukurve wird auf I = 0 A getriggert. Um diesen Zeitpunkt exakt zu erwischen, wird der Strom vor Aufnahme der Kurve vom Relais am Transformator vorbeigeleitet und fließt durch einen Widerstand von 1 Ω.



**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden (mit Power-CASSY)
- Einstellungen laden (ohne Power-CASSY)
- Evtl. Offset der am Eingang B korrigieren, dazu in Einstellungen UB **Korrigieren** wählen, als ersten Sollwert 0 V eingeben und **Offset korrigieren**
- Eisenkern entmagnetisieren, z. B. durch mehrere kräftige Schläge mit der Stirnfläche des Jochs auf die beiden Stirnflächen des U-Kerns
- Messung mit **F9** starten
- Messung nach einer Periode der Hysteresekurve oder bei $\Phi$ = 0 Vs (dann entfällt nächstes Mal das Entmagnetisieren) wieder mit **F9** stoppen
- Wenn die Hysteresekurve im zweiten und vierten Quadranten verläuft, hilft ein Verpolen der Anschlüsse an einer der beiden Spulen
- Wenn während der Messung das Anzeigeinstrument UB übersteuert wird (blinkende Anzeige), in Einstellungen UB den Messbereich vergrößern

**Auswertung**

Da die Fläche einer Hystereseschleife B(H)

$$\int B \cdot \mathrm{d}H = \frac{E}{V}$$

gerade dem Energieverlust E bei einer Ummagnetisierung pro Volumen V des ummagnetisierten Stoffes entspricht, ergibt die umschlossene Fläche im Diagramm $\Phi$(I)

$$\int \Phi \cdot \mathrm{d}I = \int N_2 AB \cdot \frac{L}{N_1} \cdot \mathrm{d}H$$
$$= \frac{N_2}{N_1} V \int B \cdot \mathrm{d}H = \frac{N_2}{N_1} E$$

für N1=N2 genau den Energieverlust E bei der Ummagnetisierung.

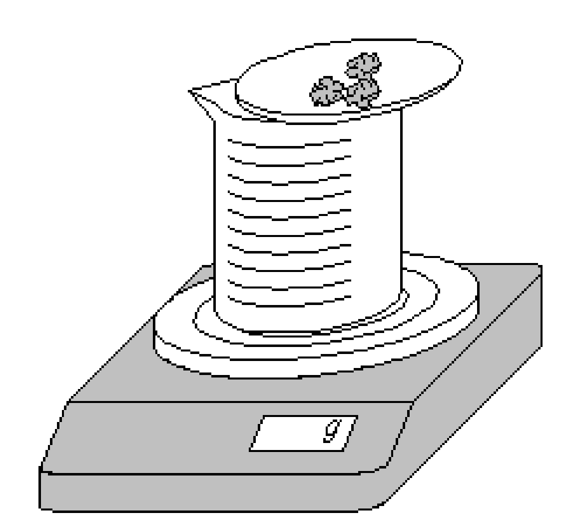
In Diagramm kann dieser Energieverlust durch die „Peakintegration“ einer Hystereseschleife berechnet werden.

## Versuchsbeispiele Chemie

Die Versuchsbeispiele helfen Ihnen beim Einsatz von CASSY Lab. Gegebenenfalls ist die entsprechende Kennzahl des Hauptkatalogs Chemieversuche mit angegeben. Die Messdaten oder Einstellungen der Beispiele können direkt in CASSY Lab geladen werden. Klicken Sie einfach auf die -Zeichen in den Beschreibungen. Neue Beispiele sind mit einem roten • gekennzeichnet.

- Reaktion von Marmor mit Salzsäure
- Titration von Salzsäure mit Natronlauge
- Schmelz- und Erstarrungspunkt von Palmitinsäure
- Hydrolyse von tertiärem Butylchlorid (Reaktionskinetik)
- C3.4.4.1 Gaschromatographie (Trennung von Alkanen aus Feuerzeuggas)
- C3.4.4.2 Gaschromatographie (Trennung von Alkoholen)
- C3.4.4.3 Gaschromatographie (Trennung von Luft)
- Gasgesetze
- Auftrennung eines Zweikomponentengemisches in der Rektifikationsapparatur CE2
- Aufnahme des Spektrums einer Rohchlorophyll-Lösung (mit dem Spektralphotometer 667 3491)

## Reaktion von Marmor mit Salzsäure




Beispiel laden

**Gefahrenhinweis**

Salzsäure wirkt ätzend. Schutzbrille aufsetzen.

### Versuchsbeschreibung

Durch die Entwicklung von $CO_2$ während der Reaktion von Marmor mit Salzsäure kommt es zu einer Massenabnahme, die mit einer Waage registriert wird (es ist kein CASSY erforderlich).

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Elektronische Waage mit Datenausgang, z. B. | 667 795 |
| | oder | 667 7780 + 667 7791 |
| 1 | Becherglas, 250 ml, nF | 664 130 |
| 1 | Uhrglas, ∅ = 80 mm | 664 154 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Benötigte Chemikalien

| | |
|---|---|
| Marmor, Stücke, 250 g | 673 250 |
| Salzsäure, c = 2 mol/l, 500 ml (ca. 6-7%ig) | 674 692 |

### Versuchsvorbereitung (siehe Skizze)

Es werden vom Programm die von LEYBOLD DIDACTIC vertriebenen Waagen der Firmen Sartorius, Mettler und Ohaus mit seriellem Datenausgang unterstützt. An der Waage müssen folgende Übertragungsparameter eingestellt sein: 2400 Baud (wählbar), 7 Datenbits, 1 Stoppbit, gerade Parität (wählbar).

Die Waage wird über ein Nullmodemkabel (25-polig: 728 088, 9-polig: 729 769) an eine serielle Schnittstelle des Computers (z. B. COM2) angeschlossen.

Das Becherglas wird mit ca. 100 ml etwa 6%iger Salzsäure gefüllt und auf die Waage gestellt. Auf das Becherglas wird das Uhrglas gesetzt. Die Waage wird durch Drücken der Tara-Taste auf Nullstellung gebracht. Dann werden auf dem Uhrglas etwa 5 g Marmorstücke eingewogen.

## Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Waage als Messgerät in den Allgemeinen Einstellungen (z. B. über **F5** erreichbar) der gewünschten seriellen Schnittstelle zuordnen (z. B. COM2)
- Evtl. in Einstellungen Masse m Baudrate und Mode der Waage und Anzeigebereich (0 – 5 g) anpassen.
  Zur Einstellung der übrigen Waagenparameter das Waagen-Handbuch zu Rate ziehen. Es muss eingestellt sein:
  kein Handshake
  Autoprint ohne Stillstand
  Intervallprint nach 1 Anzeigenwechsel
  Ausgabe ohne Datenkennzeichnung
- Alle gesendeten Massewerte werden angezeigt (Problembehebung)
- Masse der Marmorstücke in Berechnung des Massenanteils eintragen. Dazu in den Einstellungen w den Beispielwert 4,96 durch den aktuell angezeigten Wert ersetzen
- Messung mit **F9** starten
- Sofort die Reaktion einleiten, indem die Marmorstückchen durch Kippen des Uhrglases in das Becherglas gegeben werden. Das Uhrglas schräggestellt auf dem Becherglas belassen.
- Reaktion bis zur völligen Auflösung des Marmors aufnehmen und verfolgen
- Messung der mit **F9** stoppen

## Auswertung

Die störenden Gewichtsschwankungen, die durch das „Hineinkippen" des Marmors hervorgerufen wurden, können korrigiert werden, indem die „Ausreißer" in der Tabelle mit der Maus angeklickt und auf den Anfangswert (im Beispiel: 4,96 g) gesetzt werden.

Aus den Kurvenverläufen der Masse m (in g) bzw. des Massenanteil w (in %) ist zunächst eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit zu erkennen, die dann immer mehr (exponentiell) abnimmt, weil die Konzentration der Reaktanden (bzw. die Anzahl der reagierenden Moleküle bzw. Ionen) geringer wird.

Aus dem Massen-Endwert, der sich am besten der Tabelle entnehmen lässt, kann der Anteil des bei der Reaktion entwichenen $CO_2$ im Marmor ($CaCO_3$) ermittelt werden:

$CaCO_3 + 2\ HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$

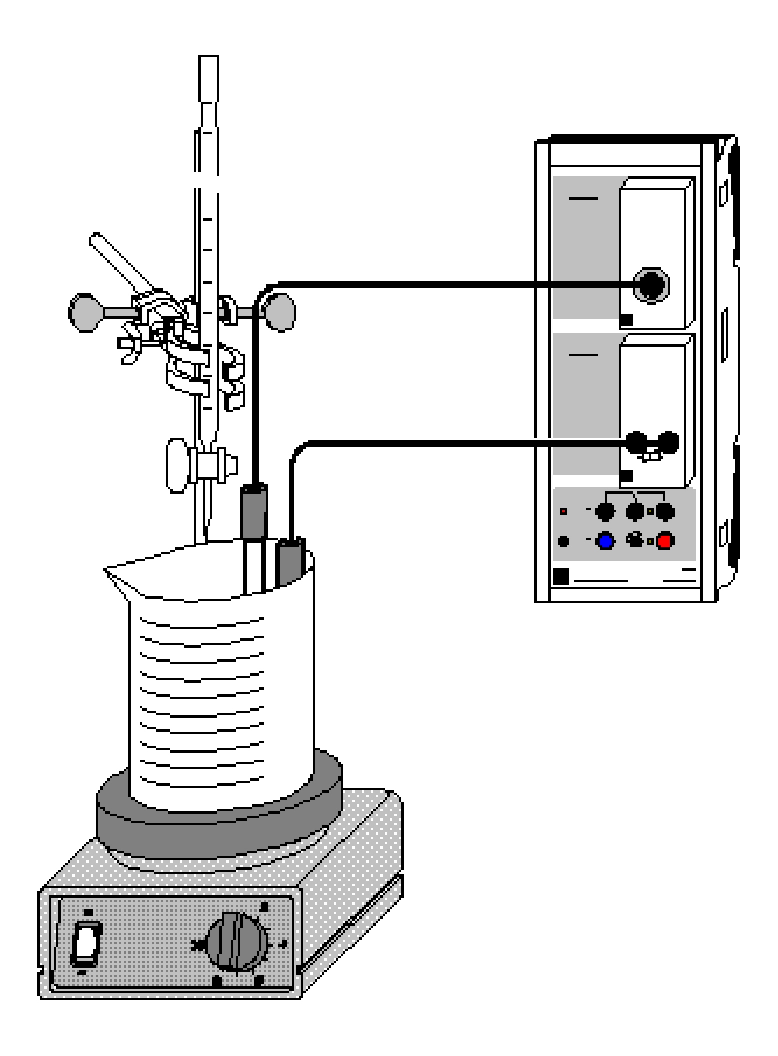
Der experimentell bestimmte Anteil des $CO_2$ nach der Beispiel-Messreihe ist

$mCaO = 2{,}85\ g/4{,}96\ g = 57{,}5\ \%$ $mCO_2 = 100\ \% - 57{,}5\ \% = 42{,}5\ \%$

Der theoretische Wert beträgt

$mCO_2 = CO_2/CaCO_3 = 44{,}0\ g/100{,}0\ g = 44{,}0\ \%$.

## Titration von Salzsäure mit Natronlauge



Beispiel laden

**Gefahrenhinweis**

Säuren und Laugen wirken ätzend. Schutzbrille aufsetzen.

### Versuchsbeschreibung

Während der Titration werden pH-Wert und Leitfähigkeit parallel erfasst und in der Auswertung der Äquivalenzpunkt und pks-Wert der Titration bestimmt.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | pH-Box | 524 035 |
| 1 | pH-Einstabmesskette | 667 424 |
| 1 | Leitfähigkeits-Box | 524 037 |
| 1 | Leitfähigkeits-Messzelle | 667 426 |
| 1 | Magnetrührer | 666 845 |
| 1 | Becherglas, 250 ml, hF | 664 113 |
| 1 | Stativrohr | 666 607 |
| 3 | Doppelmuffen | 666 542 |
| 3 | Universalklemmen | 666 555 |
| 1 | Bürette, 50 ml | 665 847 |
| 1 | Bürettentrichter | 665 816 |

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Pipette, 10 ml | 665 975 |
| 1 | Pipettierball | 666 003 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Benötigte Chemikalien**

| | |
|---|---|
| Salzsäure, c = 0,1 mol/l, 500 ml | 674 695 |
| Natronlauge, c = 0,1 mol/l, 500 ml | 673 841 |
| dest. Wasser | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

pH-Wert und Leitfähigkeit werden vom Sensor-CASSY über die pH-Box an Eingang A und die Leitfähigkeits-Box an Eingang B gemessen.

Mit Hilfe von Magnetrührer, Becherglas, Stativmaterial und Bürette einen Titrationsaufbau erstellen. In das Becherglas ca. 100 ml Wasser und mit der Pipette 10 ml Salzsäure geben.

Die Elektroden so eintauchen und befestigen, dass sie einerseits eine ausreichende Eintauchtiefe aufweisen, andererseits aber nicht vom rotierenden Rührstäbchen getroffen werden.

**Kalibrierung**

Für genaue Messungen sollte das erste Mal und später in größeren Zeitabständen eine Kalibrierung der Elektroden erfolgen:

- Einstellungen laden
- In Einstellungen pH-Wert $pH_{A1}$ **Korrigieren** wählen
- Elektrode mit dest. Wasser abspülen und in Pufferlösung pH 7,00 eintauchen, kurz bewegen.
- Als ersten Sollwert 7,00 eintragen und **Offset korrigieren**
- Elektrode mit dest. Wasser abspülen und in Pufferlösung pH 4,00 eintauchen, kurz bewegen.
- Als zweiten Sollwert 4,00 eintragen und **Faktor korrigieren**
- In Einstellungen Leitfähigkeit $C_{B1}$ **Korrigieren** wählen
- Statt Faktor 1,00 den auf dem Elektrodenschaft eingravierten Faktor eintragen und **Faktor korrigieren**
- Für eine spätere Verwendung kalibrierte Einstellungen mit **F2** unter einem neuen Namen abspeichern
- Sensor-CASSY, Elektroden und Sensorboxen so markieren, dass sie später am gleichen Eingang wieder verwendet werden können (nur dann passt die gespeicherte Kalibrierung)

**Versuchsdurchführung**

- Kalibrierte Einstellungen verwenden oder laden
- Anfangswerte mit **F9** abspeichern
- Die Natronlauge kontinuierlich zutropfen lassen und alle 0,5 ml den zugehörigen pH- und Leitfähigkeitswert mit **F9** erfassen

**Auswertung**

Für die Bestimmung des Äquivalenzpunkts gibt es zwei Möglichkeiten:

pH-Wert

Mit rechter Maustaste auf das Diagramm klicken, in weiteren Auswertungen **Äquivalenzpunkt bestimmen** anklicken und den gewünschten Kurvenbereich markieren. Der Wert (gegebenenfalls mit pks-Wert) erscheint in der Statuszeile links unten und kann als Text an eine beliebige Stelle im Diagramm eingetragen werden.

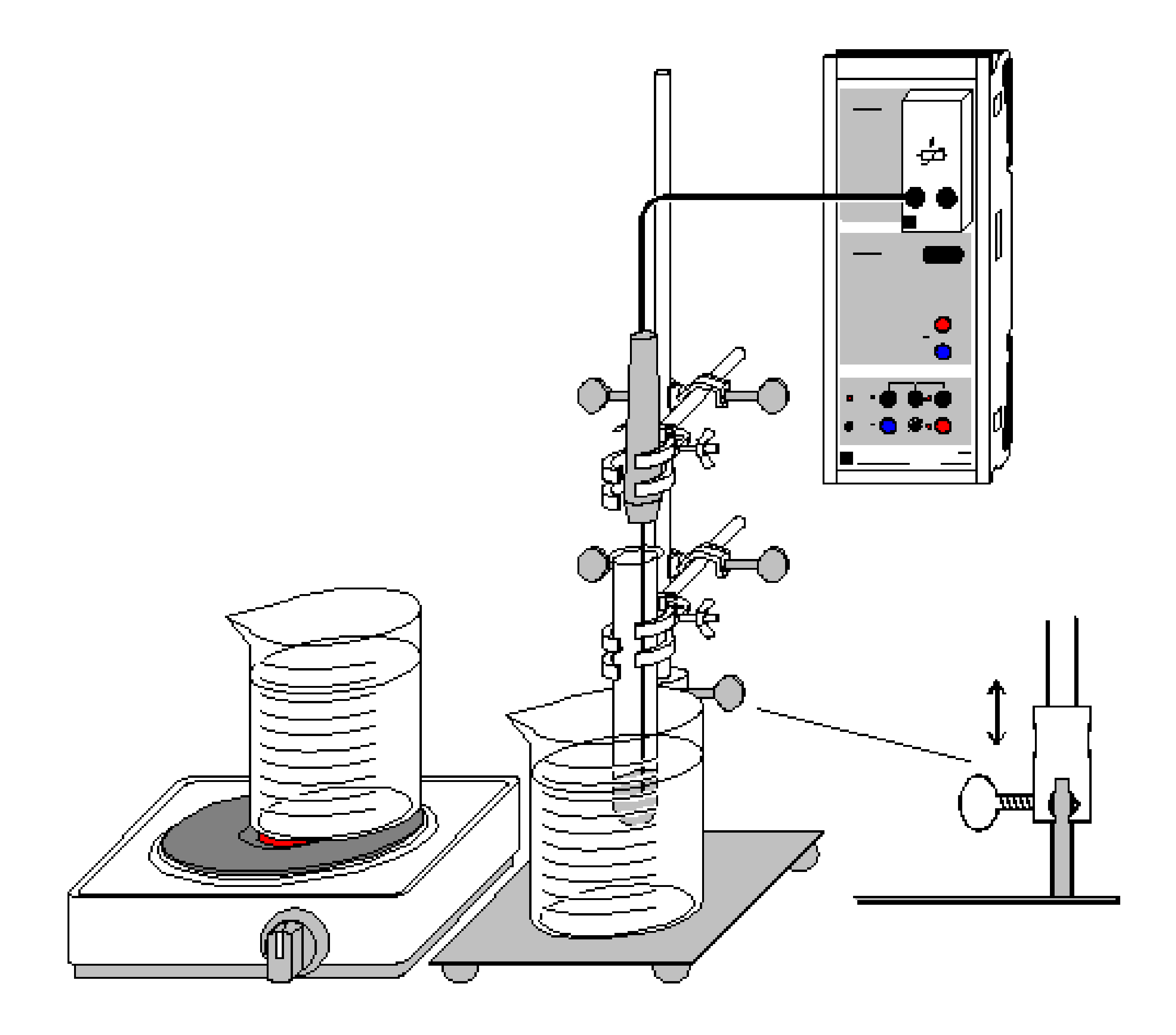
Leitfähigkeit

Mit rechter Maustaste auf das Diagramm klicken, in Anpassung durchführen die Ausgleichsgerade wählen und den linken Ast der Leitfähigkeitskurve markieren. Ebenso für den rechten Ast verfahren. Als Markierung kann eine senkrechte Linie durch den Schnittpunkt der beiden Geraden gezeichnet werden. Ebenso ist auch eine Koordinatenanzeige möglich.

**Weitere Versuchsmöglichkeiten**

- Erfassung nur einer Messgröße (z. B. pH-Wert)
  Mit der rechten Maustaste auf das Leitfähigkeitsfenster klicken und **Löschen** wählen. Das Anzeigefenster und alle anderen der Leitfähigkeit verbundenen Daten verschwinden. Es wird jetzt nur noch der pH-Wert gemessen.
- Verwendung einer Gleichlauf- oder Motorkolbenbürette (automatische Titration)
  Im Messparameterfenster (zweimal **F5**) **automatische Aufnahme** wählen und als Intervall z. B. 1 s einstellen.
  In den Einstellungen V für das Volumen die Formel **t/20** eingeben (hier wird angenommen, dass in 20 s 1 ml zudosiert wird. Dieser Wert, wie auch das maximale Volumen, muss ggf. angepasst werden).
- Verwenden einer Waage zur Volumenerfassung (automatische Titration)
  In den Allgemeinen Einstellungen (nach **F5**) an der seriellen Schnittstelle der Waage die Einstellung **Waage** vorgeben (z. B. COM2 auf **Waage** stellen, wenn die Waage an COM2 angeschlossen ist). Die Einstellungen der Waage (Baudrate, Mode, etc.) der Waagenprogrammierung anpassen (ggf. Handbuch zur Waage zu Rate ziehen).
  In den Einstellungen V für das Volumen die Formel **m/1.05** eingeben (hier wird angenommen, dass die Dichte des Titrationsmittels 1,05 g/ml ist. Dieser Wert, wie auch das maximale Volumen, muss ggf. angepasst werden).

## Schmelz- und Erstarrungspunkt von Palmitinsäure



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Durch Aufnahme des Temperaturverlaufs beim Erhitzen einer Substanz kann deren Schmelz- und Erstarrungspunkt ermittelt werden.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Temperatur-Box | 524 045 |
| 1 | Temperaturfühler NTC | 666 212 |
| 2 | Bechergläser, 250 ml, hF | 664 113 |
| 1 | Bunsenstativ | 666 504 |
| 1 | Stativrohr, 13 mm ∅ | 666 607 |
| 1 | Universalmuffe | 666 615 |
| 2 | Doppelmuffen | 301 09 |
| 2 | Universalklemmen | 666 555 |
| 1 | Reagenzglas, aus | 664 043 |
| 1 | Doppelspatel | 666 962 |
| 1 | Heizplatte, z. B. | 666 767 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Benötigte Chemikalien**

1 Palmitinsäure, 50 g 674 050

**Versuchsvorbereitung (siehe Skizze)**

- Ein Becherglas zu etwa ¾ mit Wasser füllen und auf der Heizplatte auf 80 bis 90 °C erhitzen.
- Das Reagenzglas 3 bis 4 cm hoch mit Palmitinsäure füllen und im Wasserbad zum Schmelzen bringen.
- Das 13 mm-Rohr mit Hilfe der Universalmuffe so über das 10 mm-Rohr schieben, dass es teleskopartig bewegbar ist. An das 13 mm-Rohr das Reagenzglas mit der Palmitinsäure und den NTC-Temperaturfühler so einspannen, dass sich der Fühler ca. 1 cm über dem Boden und in der Mitte des Reagenzglases befindet (nicht an der Wandung).
- Den Temperaturfühler mit dem Eingang T1 der Temperatur-Box verbinden. Die Box auf den Eingang A des Sensor-CASSYs stecken.
- Die Probe auf mindestens 40 °C abkühlen. Dazu das zweite Becherglas mit kaltem Wasser verwenden.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
  Hinweis zum Kalibrieren
  Falls erforderlich, kann der angeschlossene Temperaturfühler kalibriert werden. Dazu in den Einstellungen $\vartheta_{A11}$ (rechte Maustaste) nach Korrigieren die beiden Sollwerte 0 °C und 100 °C eingeben und **Offset korrigieren** (Temperaturfühler dabei in Eis/Wassergemisch) sowie **Faktor korrigieren** (Temperaturfühler dabei in kochendem Wasser) anklicken.
- Mit Hilfe des teleskopartigen Stativs das Reagenzglas mit der erstarrten Palmitinsäure und dem eingeschmolzenen Temperaturfühler in das ca. 80 °C heiße Wasserbad setzen.
- Im Programm durch Anklicken der Uhr auf der Symbolleiste (oder Drücken von **F9**) die Messwertaufnahme starten.
- Wenn die Temperatur oberhalb von etwa 60 °C wieder stärker ansteigt, die Probe mit dem Fühler mittels des Stativs aus dem heißen Wasserbad heben und zum schnelleren Abkühlen in das Becherglas mit kaltem Wasser setzen (alternativ kann man die Probe auch langsamer an der Luft abkühlen lassen).
- Wenn die Temperatur deutlich unter den Erstarrungspunkt gefallen ist (ca. 60 °C) kann die Messung mit **F9** oder durch Klicken auf das Uhrensymbol beendet werden.

**Auswertung**

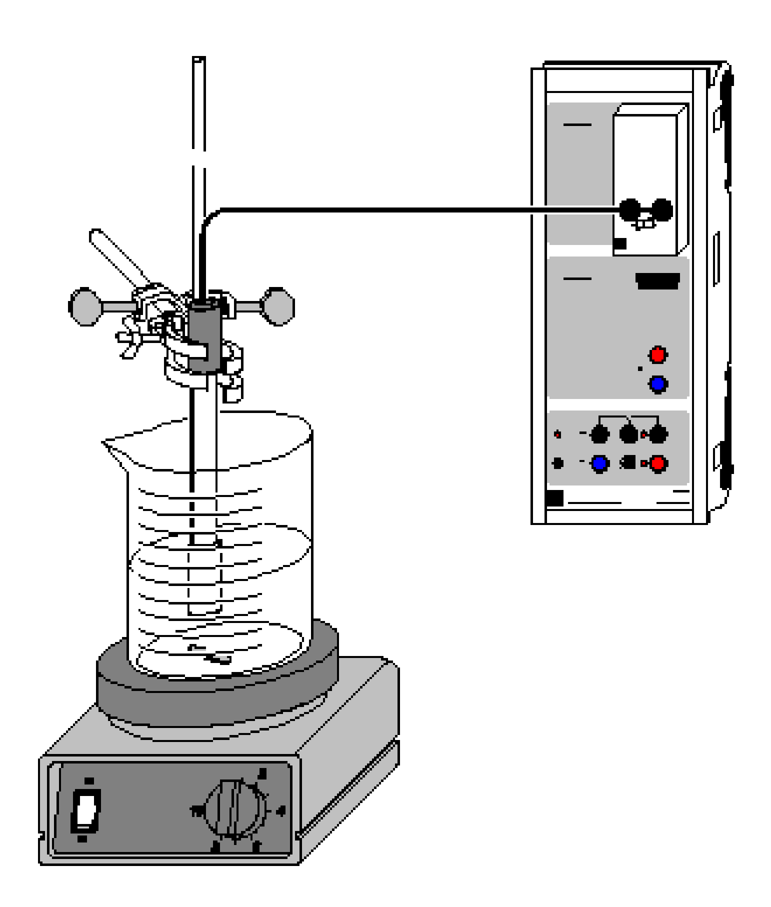
- Zur optimalen Darstellung der Grafik können die Bereiche der Fenster verändert werden. Dazu mit der rechten Maustaste auf die jeweilige Achse klicken oder Zoomen (rechte Maustaste auf die Grafik).
- Zur Bestimmung und Markierung des Schmelz- und Erstarrungspunktes eine waagerechte Linie (rechte Maustaste auf die Grafik und Markierung setzen, Waagerechte Linie wählen) so positionieren, dass sie durch den konstanten Erstarrungsbereich verläuft.
- Der in der Statuszeile (links unten) angezeigten Wert kann als Text (rechte Maustaste auf die Grafik und Markierung setzen, Text wählen) in die Grafik übernommen werden. Wenn gewünscht, kann er dabei auch verändert werden.

**Weitere Versuchsmöglichkeiten**

- Aufnahme des Temperaturverlaufs anderer Stoffe, z. B. von Natriumthiosulfat-5-hydrat
- Vergleich der Temperaturkurven verschiedener Stoffe durch Überlagerung
- Vergleich der Temperaturkurven eines Stoffes mit unterschiedlicher Reinheit
- Untersuchung des Schmelz- und Erstarrungsverhaltens von Gemischen mit unterschiedlicher Zusammensetzung, Bestimmung des eutektischen Gemisches, Erstellen eines Phasendiagramms



## Hydrolyse von tertiärem Butylchlorid (Reaktionskinetik)



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Bei der Hydrolyse von tertiärem Butylchlorid (2-Chlor-2-Methylpropan) entsteht tertiäres Butanol und Chlorwasserstoff, der durch Protolyse Oxonium- und Chloridionen bildet, die zu einem starken Leitfähigkeitsanstieg führen:

$$(CH_3)_3C-Cl + 2\,H_2O \longrightarrow (CH_3)_3C-OH + H_3O^+ + Cl^-$$

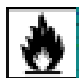
### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Leitfähigkeits-Box | 524 037 |
| 1 | Leitfähigkeits-Messzelle | 667 426 |
| 1 | Magnetrührer | 666 845 |
| 1 | Becherglas, 250 ml, hF | 664 113 |
| 1 | Stativrohr | 666 607 |
| 1 | Doppelmuffe | 301 09 |
| 1 | Kleinklemme | 666 551 |
| 1 | Messzylinder, 100 ml | 665 754 |
| 1 | Messpipette, 1 ml | 665 994 |
| 1 | Pipettierball | 666 003 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Benötigte Chemikalien

0,8 ml Lösung von tertiärem Butylchlorid (c=0,1 mol/l) in Aceton

### Gefahrenhinweis

Aceton ist leicht entzündlich. Von Zündquellen fernhalten.

### Versuchsvorbereitung (siehe Skizze)

- Magnetrührer mit Stativ aufbauen.
- Im Messzylinder 90 ml dest. Wasser und 10 ml Aceton abmessen und in das Becherglas geben.
- Ein Magnet-Rührstäbchen hinzufügen und das Becherglas auf den Magnetrührer setzen. Die Leitfähigkeits-Messzelle so am Stativ einspannen, das sie bis knapp unter die Luftaustrittsöffnung eintaucht. Magnetrührer einschalten.
- Die Leitfähigkeits-Box auf Eingang A des Sensor-CASSYs stecken, die Leitfähigkeits-Messzelle über die Bananenstecker mit der Leitfähigkeits-Box verbinden.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
  Hinweis zum angezeigten Leitfähigkeitswert
  Der Anfangswert der Leitfähigkeit sollte für den Versuch 10 µS/cm nicht überschreiten. Ist dies dennoch der Fall, muss die Messzelle durch Spülen mit dest. Wasser gründlich gereinigt werden.
  Als Alternative kann über Einstellungen Leitfähigkeit (Aufruf durch rechten Mausklick auf Anzeige) durch **Korrigieren** der Offset so angepasst werden, dass der Anfangswert Null ist.
- Messzelle kalibrieren. Dazu in den Einstellungen Leitfähigkeit (Aufruf durch rechten Mausklick auf Anzeige) **Korrigieren** wählen, den aufgedruckten Faktor eingeben und **Faktor korrigieren** wählen.
- Mit der Messpipette 0,8 ml der tertiären Butylchloridlösung (c = 0,1 mol/l) abmessen.
- Im Programm durch Anklicken der Uhr auf der Symbolleiste (oder Drücken von **F9**) die Messwertaufnahme starten.
- Die abgemessene Menge tertiäres Butylchlorid zügig zur Lösung in das Becherglas geben.
- Die Messung nach ca. 8 min durch erneutes Anklicken des Uhrensymbols (oder **F9**) beenden, wenn sich die Leitfähigkeit kaum noch verändert. Wenn nötig kann der Messbereich in den Einstellungen $C_{A1}$ vergrößert werden.

### Auswertung

Für die Auswertung sind drei Möglichkeiten bereits vorbereitet:

Darstellung der Konzentrationsveränderung

Dazu die Darstellung **Konzentration** anklicken. Die Veränderung der Konzentration c an tertiärem Butylchlorid kann nun verfolgt werden. Die Berechnung der Konzentration in mmol/l erfolgt aus der eingesetzten Menge (0,8 ml 0,1-molare Lösung), der aktuellen Leitfähigkeit $C_{A1}$ und der Endleitfähigkeit (hier: 198,9 µS/cm; dieser Wert kann entsprechend der in der Tabelle abgelesenen Leitfähigkeit geändert werden).

Die Umrechnungsformel **(1-CA1/198,9)*0,8** kann in den Einstellungen c eingesehen und ggf. angepasst werden, ebenso der Anzeigebereich.

Test auf Reaktion 1. Ordnung

Dazu die Darstellung **Test auf 1. Ordnung** anklicken. Es erfolgt die Darstellung von $\ln(c_A/c)$ gegen t ($c_A$ = Anfangskonzentration, c = eingesetzte Menge an tertiärem Butylchlorid). Zur Bestimmung der Geschwindigkeitskonstanten k der Reaktion wird über den linearen Anfangsbereich der Kurve eine Ausgleichsgerade (Anpassung nach rechtem Mausklick auf Diagramm durchführen) berechnet und deren Steigung ermittelt. Durch Markierung setzen kann die Gerade mit dem Wert für die Steigung (A) beschriftet werden.

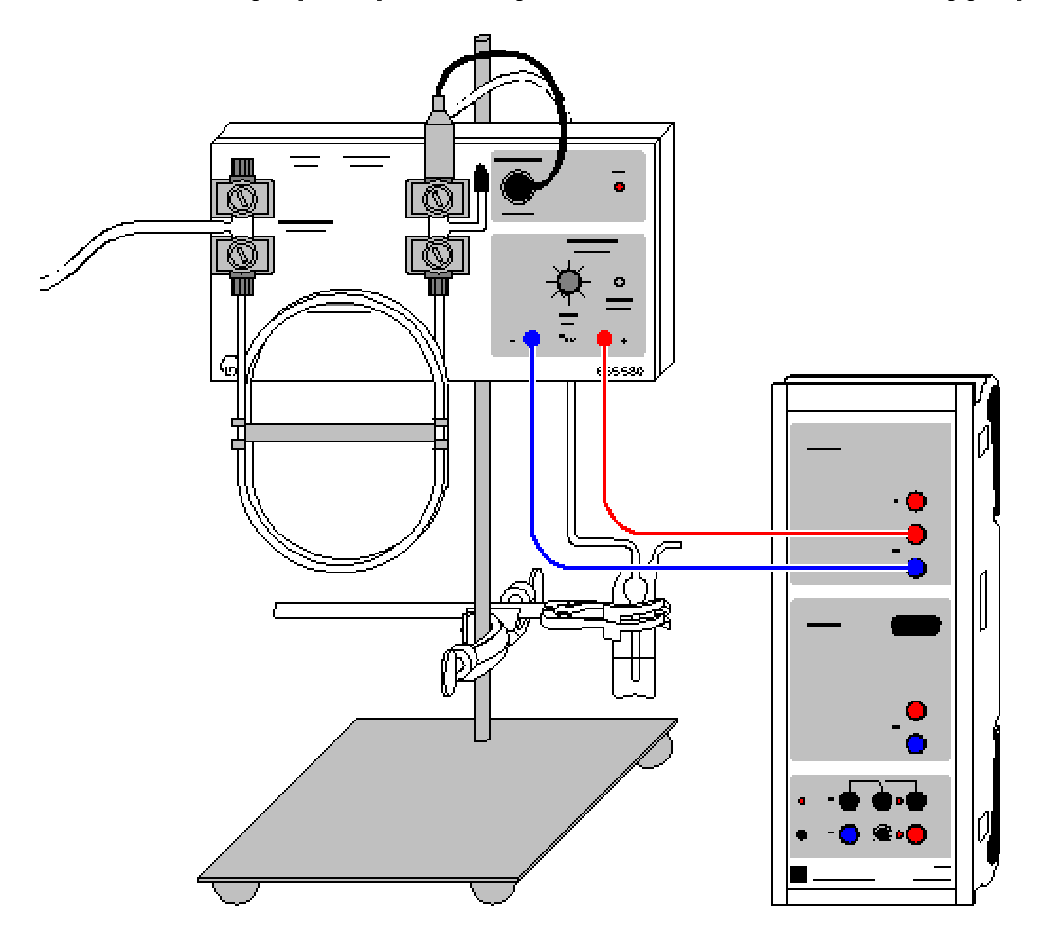
Test auf Reaktion 2. Ordnung

Dazu die Darstellung **Test auf 2. Ordnung** anklicken. Es erfolgt die Darstellung von $1/c - 1/c_A$ gegen t ($c_A$ = Anfangskonzentration, c = eingesetzte Menge an tertiärem Butylchlorid). Die Darstellung zeigt keinen linearen Zusammenhang. Somit liegt hier keine Reaktion 2. Ordnung vor.

**Weitere Versuchsmöglichkeiten**

- Durchführung und Aufnahme der Hydrolyse bei unterschiedlichen Temperaturen. Bei der Wiederholung der Messung werden die Kurven zum Vergleich überlagert. Der Einfluss auf den Reaktionsverlauf und die Reaktionsgeschwindigkeit ist deutlich zu erkennen. Aus den unterschiedlichen Geschwindigkeitskonstanten und den zugehörigen Temperaturen lässt sich die Aktivierungsenergie der Reaktion berechnen.
- Verwendung unterschiedlicher Lösungsmittel zur Untersuchung des Lösungsmitteleinflusses auf Reaktionsordnung und -geschwindigkeit.
- Untersuchung enzymatischer Reaktionen, z. B. der Harnstoffspaltung durch Urease.

## Gaschromatographie (Trennung von Alkanen aus Feuerzeuggas)



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

In diesem Versuch zur Trennung von Alkanen aus Feuerzeuggas wird die vom Detektor gelieferte, am Schreiberausgang des Gaschromatographen anliegende Spannung gegen die Zeit gemessen.

Zur qualitativen Analyse lassen sich die Retentionszeiten der einzelnen Peaks ermitteln und mit denen von Referenzsubstanzen vergleichen.

Bitte beachten Sie auch die Gebrauchsanweisung des verwendeten Gaschromatographen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Gaschromatograph LD1 | 665 580 |
| 1 | Trennsäule mit Dinonylphthalat | 665 583 |
| 1 | Kohlenwasserstoff-Sensor | 665 582 |
| 1 | Luftpumpe | 662 286 |
| 1 | Blasenzähler | 309 064 75 |
| 1 | Dosierspritze, 1 ml | 665 957 |
| 1 | Kanülen, 10 Stück | 665 960 |
| 1 | Paar Kabel, 50 cm, rot und blau | 501 45 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Benötigte Chemikalien

| | |
|---|---|
| Feuerzeuggas (Probe) | |
| n-Butan, Druckgasdose (Referenz) | 666 989 |
| Feinregulierventil | 660 980 |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

- Gaschromatograph (GC) mit Trennsäule (Dinolylphthalat) und Kohlenwasserstoff-Sensor (Detektor) aufbauen.
- Eingang des GCs mit Luftpumpe verbinden, Ausgang mit Blasenzähler.
- Luftpumpe einschalten.
- GC mit Steckernetzgerät verbinden: LED am GC leuchtet.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Mit den Nullpunktsreglern am GC die Nulllinie bei ca. $U_{A1}$=0,05 V einstellen.
- Probemessung mit **F9** starten
- Sobald eine stabile Nulllinie aufgezeichnet wird, die Probemessung wieder mit **F9** stoppen.
- Mit der Dosierspritze zunächst ohne Kanüle vom Feuerzeug ca. 1 ml Gas mehrmals aufziehen. Dann Kanüle aufsetzen und das Gas bis auf 0,05 ml ausstoßen. Die verbliebenen 0,05 ml Gas in den Einspritzkopf des GCs injizieren.
- Aufzeichnung des Spannungsverlaufs erneut mit **F9** starten und solange fortsetzen, bis alle zu erwartenden Peaks erschienen sind und Messung wieder mit **F9** stoppen. Messreihe abspeichern.
- Zur Identifizierung einzelner Komponenten den Versuch mit einer Referenzsubstanz, z. B. n-Butan, wiederholen. Messreihe ebenfalls abspeichern.

**Auswertung**

Durch Zoomen (Auswertemenü über rechten Mausklick auf Diagramm) kann der entscheidende Kurvenausschnitt bildschirmfüllend dargestellt werden.

Zur Bestimmung der Retentionszeiten kann eine senkrechte Markierungslinie durch den Maximalwert eines Peaks gelegt oder der Peakschwerpunkt berechnet werden. Die Retentionszeit kann als Text in das Diagramm geschrieben werden. Der Vergleich der Retentionszeit des Referenzpeaks (n-Butan) mit denen der Komponenten in der Probe zeigt, dass es sich bei der 4. Substanz um n-Butan handelt.

Alternativ können die Kurven von Probe und Referenzsubstanz überlagert werden. Dazu beide Kurven hintereinander laden und die Abfrage „Soll die neue Messreihe zusätzlich zur vorhandenen Messreihe geladen werden?“ bejahen.

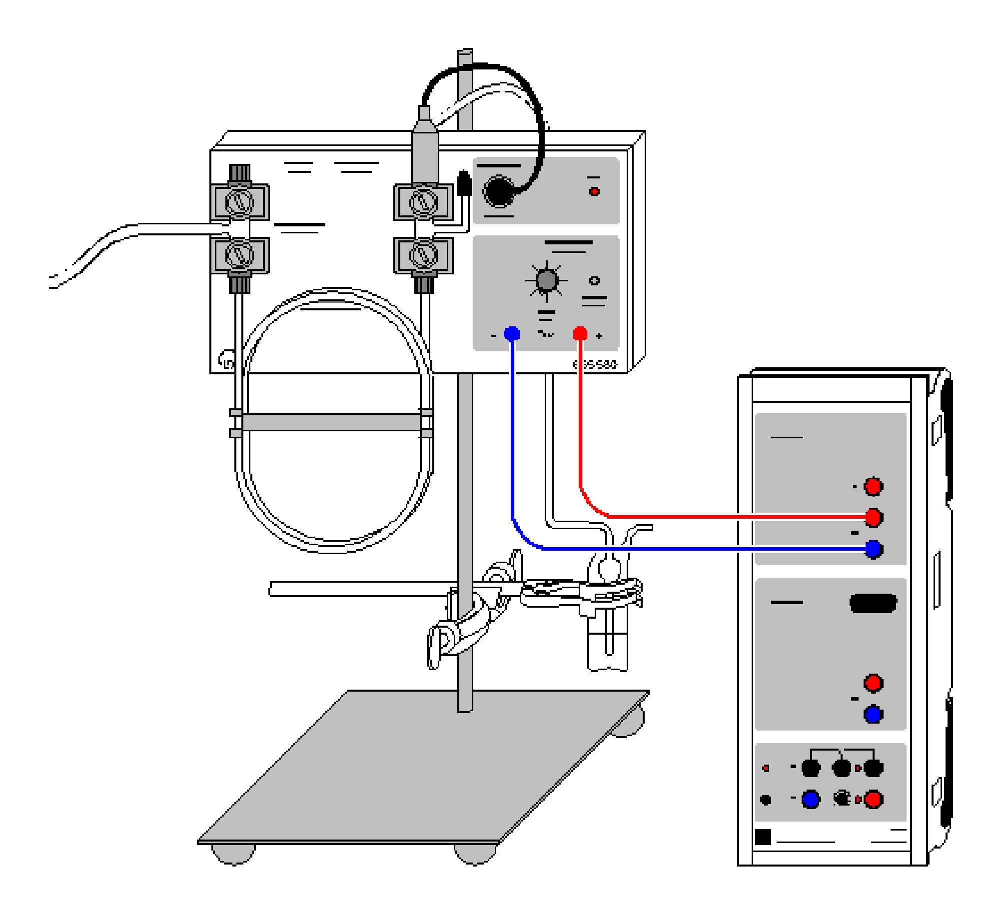
Hinweis: Abweichungen der Retentionszeiten können durch Veränderung der Raumtemperatur während der Messungen entstehen.

**Erweiterung/Variationen**

Wie am Beispiel des n-Butans beschrieben, lassen sich mit den entsprechenden Referenzsubstanzen (Ethan, Propan, i-Butan) auch die anderen Bestandteile des Feuerzeuggases identifizieren.

Durch die Aufnahme von Chromatogrammen der Gase aus verschiedenen Feuerzeugen lässt sich deren unterschiedliche Zusammensetzung nachweisen.

## Gaschromatographie (Trennung von Alkoholen)



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

In diesem Versuch zur Trennung verschiedener Alkohole wird die vom Detektor gelieferte, am Schreiberausgang des Gaschromatographen anliegende Spannung gegen die Zeit gemessen.

Zur qualitativen Analyse lassen sich die Retentionszeiten der einzelnen Peaks ermitteln. Die Bestimmung der Peakflächen durch Integration erlaubt die quantitative Untersuchung der Probe.

Bitte beachten Sie auch die Gebrauchsanweisung des verwendeten Gaschromatographen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Gaschromatograph LD1 | 665 580 |
| 1 | Trennsäule mit Porapak P | 665 584 |
| 1 | Kohlenwasserstoff-Sensor (Detektor) | 665 582 |
| 1 | Luftpumpe | 662 286 |
| 1 | Blasenzähler | 309 064 75 |
| 1 | Mikroliterspritze, 1 µl | 665 617 |
| 1 | Ersatzkanülen, 3 Stück | 665 616 |
| 1 | Paar Kabel, 50 cm, rot und blau | 501 45 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Benötigte Chemikalien

| | |
|---|---|
| Methanol, 250 ml | 673 270 |
| Ethanol, abs., 250 ml | 671 970 |
| Propanol-1, 250 ml | 674 431 |
| Propanol-2, 250 ml | 674 440 |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

- Probe vorbereiten, z. B. ein Gemisch verschiedener Alkohole wie: Methanol, Ethanol und Propanol.
- Gaschromatograph (GC) mit Trennsäule (Porapak P) und Kohlenwasserstoff-Sensor (Detektor) aufbauen.
- Eingang des GCs mit Luftpumpe verbinden, Ausgang mit Blasenzähler.
- Luftpumpe einschalten.
- GC mit Steckernetzgerät verbinden: LED am GC leuchtet.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Mit dem Nullpunktsregler am GC die Nulllinie bei ca. $U_{A1}$=0,05 V einstellen.
- Probemessung mit **F9** starten
- Sobald eine stabile Nulllinie aufgezeichnet wird, die Probemessung wieder mit **F9** stoppen.
- Mit der Mikroliterspritze 0,5 µl des Alkohol-Gemisches in den Einspritzkopf des GCs injizieren.
- Aufzeichnung des Spannungsverlaufs erneut mit **F9** starten und solange fortsetzen, bis alle zu erwartenden Peaks erschienen sind und Messung wieder mit **F9** stoppen

**Auswertung**

Durch Zoomen (Auswertemenü über rechten Mausklick auf Diagramm) kann der entscheidende Kurvenausschnitt bildschirmfüllend dargestellt werden.

Zur Bestimmung der Retentionszeiten kann eine senkrechte Markierungslinie durch den Maximalwert eines Peaks gelegt oder der Peakschwerpunkt berechnet werden. Die Retentionszeit kann als Text in das Diagramm geschrieben werden.

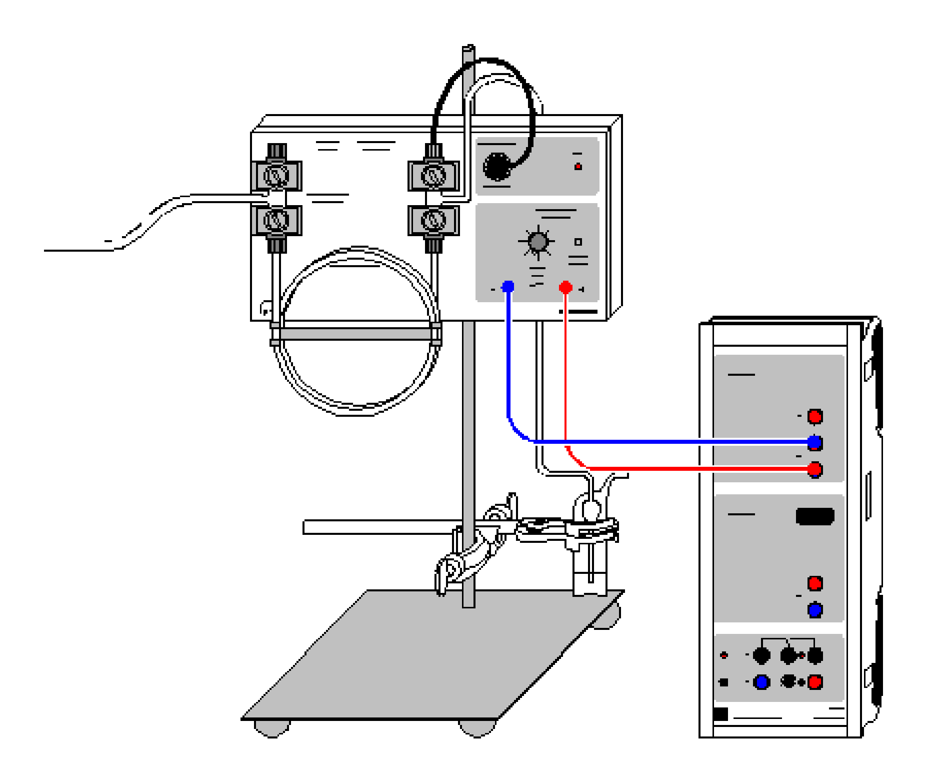
Zur quantitativen Analyse des Gemisches werden die Peakflächen durch Integration bestimmt. Dann ermittelt man den Flächenanteil eines Peaks bezogen auf die Gesamtfläche aller Peaks. Im Beispiel beträgt die Gesamtfläche aller Peaks 950 Vs. Der Flächenanteil des Ethanols ist somit 206 Vs / 950 Vs = 22 %. Die exakte Konzentrationsbestimmung erfolgt dann durch Kalibrierung mit den Einzelsubstanzen oder nach der Additionsmethode.

**Erweiterung/Variationen**

Nach Aufnahme einer Kalibrierreihe für bekannte Ethanolkonzentrationen kann der Ethanolgehalt in verschiedenen alkoholischen Getränken bestimmt werden.

Durch Erwärmen der Säule in einem Wasserbad können auch längerkettige Alkohole getrennt werden.

## Gaschromatographie (Trennung von Luft)



Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

In diesem Versuch zur Trennung der Gase in Luft wird die vom Wärmeleitfähigkeitsdetektor gelieferte, am Schreiberausgang des Gaschromatographen anliegende Spannung gegen die Zeit gemessen. Als Trägergas dient hier Wasserstoff, der einem Hydridspeicher entnommen wird.

Die Bestimmung der Peakflächen durch Integration erlaubt die quantitative Untersuchung der Probe. Zur qualitativen Analyse lassen sich die Retentionszeiten der einzelnen Peaks ermitteln und mit denen von Referenzsubstanzen vergleichen.

Bitte beachten Sie auch die Gebrauchsanweisung des verwendeten Gaschromatographen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Gaschromatograph LD1 | 665 580 |
| 1 | Trennsäule mit Molekularsieb | 665 585 |
| 1 | Wärmeleitfähigkeitsdetektor | 665 581 |
| 1 | Metallhydridspeicher | 661 005 |
| 1 | Regulierventil | 666 4792 |
| 1 | Blasenzähler | 309 06 475 |
| 1 | Dosierspritze, 5 ml | 665 955 |
| 1 | Kanülen, 10 Stück | 665 960 |
| 1 | Paar Kabel, 50 cm, rot und blau | 501 45 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

- Gaschromatograph (GC) mit Trennsäule (Molekularsieb) und Wärmeleitfähigkeitsdetektor (WLD) aufbauen.
- Eingang des GCs mit Metallhydridspeicher und Regulierventil verbinden, Ausgang mit Blasenzähler.
- Durch Öffnen des Regulierventils Wasserstoff durch den GC strömen lassen.

- GC mit Steckernetzgerät verbinden: LED am GC leuchtet.
- Um ein positives Signal zu erhalten, muss bei den Verbindungskabeln zum CASSY die Polarität vertauscht werden (Die Wärmeleitfähigkeit der zu trennenden Substanzen ist geringer als die des Wasserstoff).

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Mit den Nullpunktsreglern am GC die Nulllinie bei ca. $U_{A1}$=0,05 V einstellen.
- Probemessung mit **F9** starten
- Sobald eine stabile Nulllinie aufgezeichnet wird, die Probemessung wieder mit **F9** stoppen.
- Mit der Dosierspritze 2 ml Luft in den Einspritzkopf des GCs injizieren.
- Aufzeichnung des Spannungsverlaufs erneut mit **F9** starten und solange fortsetzen, bis alle zu erwartenden Peaks erschienen sind und Messung wieder mit **F9** stoppen.

**Auswertung**

Durch Zoomen (Auswertemenü über rechten Mausklick auf Diagramm) kann der entscheidende Kurvenausschnitt bildschirmfüllend dargestellt werden.

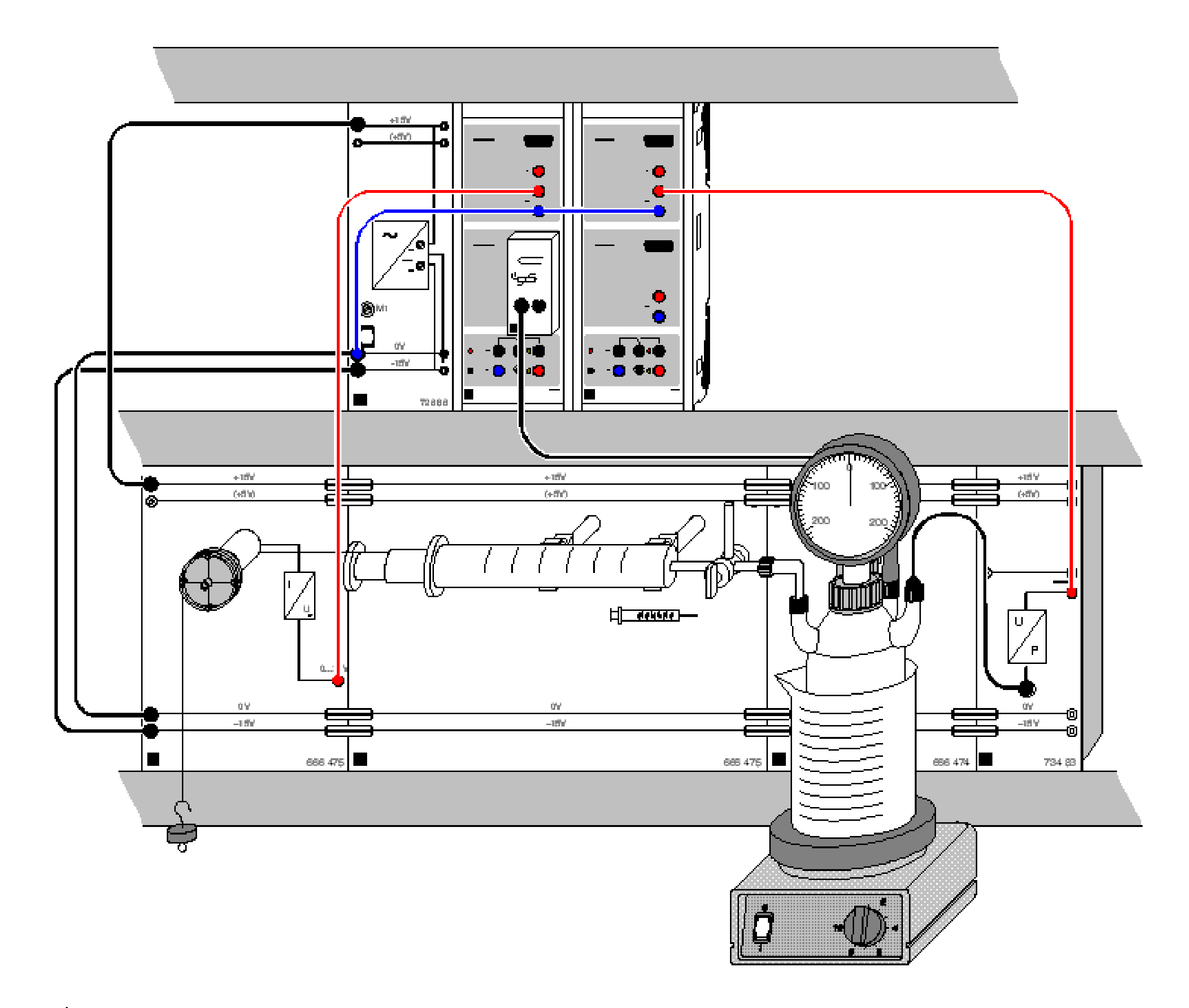
Zur quantitativen Analyse des Gemisches werden die Peakflächen durch Integration bestimmt. Dann ermittelt man den Flächenanteil eines Peaks bezogen auf die Gesamtfläche aller Peaks. Im Beispiel beträgt die Gesamtfläche aller Peaks 37,85 Vs. Der Flächenanteil der ersten Komponente (Sauerstoff) ist somit 8,12 Vs / 37,85 Vs = 21 %. Die zweite Substanz (Stickstoff) ist zu 29,73 Vs / 37,85 Vs = 79 % enthalten. Durch eine ähnliche Wärmekapazität beider Gase erübrigt sich die für eine exakte Konzentrationsbestimmung sonst erforderliche Kalibrierung mit den Einzelsubstanzen oder nach der Additionsmethode.

Hinweis: Der Anstieg der Nulllinie (Drift) ab dem zweiten Peak ist durch eine Veränderung der Raumtemperatur während der Messung verursacht worden.

**Erweiterung**

Da mit dieser Anordnung auch die Auftrennung von Kohlenmonoxid und Methan möglich ist, lassen sich auch andere Gasgemische wie z.B. Biogas untersuchen.

## Gasgesetze



- Beispiel für Gesetz von Boyle-Mariotte (isotherm) laden
- Beispiel für Gesetz von Amontons (isochor) laden
- Beispiel für Gesetz von Gay-Lussac (isobar) laden

### Versuchsbeschreibung

In diesem Versuch werden die 3 Messgrößen Druck p, Temperatur T und Volumen V parallel erfasst. Bei idealem Verhalten des jeweiligen Gases gilt das ideale Gasgesetz

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$,

wobei n die Stoffmenge in mol und R = 8,315 J/K/mol die allgemeine Gaskonstante ist. Zur experimentellen Bestätigung des Gasgesetzes wird von den drei variablen Parametern (p, V und T) jeweils einer konstant gehalten. Somit kommt man zu drei abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten:

| | |
|---|---|
| Gesetz von Boyle-Mariotte (T = konst., isotherm): | $p \sim 1/V$ |
| Gesetz von Amontons (V = konst., isochor): | $p \sim T$ |
| Gesetz von Gay-Lussac (p = konst., isobar): | $V \sim T$ |

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 2 | Sensor-CASSYs | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Temperatur-Box | 524 045 |
| 1 | Temperaturfühler, NiCr-Ni | 666 216 |
| 1 | CPS-Elektronischer Wegaufnehmer | 666 475 |

| | | |
|---|---|---|
| 1 | CPS-P/U-Wandler | 734 83 |
| 1 | Grundeinheit Gasgesetze | 666 474 |
| 1 | Kolbenprober für Gasgesetze | 666 473 |
| 1 | Stabilisiertes Netzgerät ±15 V | 726 86 |
| 1 | Magnetrührer, heizbar | 666 847 |
| 1 | Rührstäbchen | 666 854 |
| 1 | Laborboy | 300 76 |
| 1 | Becherglas, 1000 ml, nF | 664 107 |
| 1 | Schraubkappe GL 18 | 667 305 |
| 1 | Satz 10 Silikondichtungen | 667 306 |
| 1 | Satz 10 Verbindungsstecker | 501 511 |
| 1 | Profilrahmen C100, zweizeilig | 666 428 |
| 3 | Kabel, 100 cm, schwarz | 500 444 |
| 2 | Paar Kabel, 100 cm, rot und blau | 501 46 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Den elektronischen Wegaufnehmer, den Kolbenprober für die Gasgesetze, die Grundeinheit Gasgesetze und das Netzgerät in die untere Schiene des Profilrahmens einsetzen und die einzelnen Platten mit den Verbindungssteckern aneinanderfügen. An der Grundeinheit werden der Kolbenprober, das Thermoelement und der Drucksensor mit den entsprechenden GL 18 Verschraubungen angebracht. Die GL 45 Verschraubung wird mit dem beiliegenden Schraubverschluss abgedichtet. Das Laststück mit Hilfe der Angelschnur an der Klemme für den Kolbenprober festbinden. Die Klemme auf das Ende des Stempels pressen und die Schnur zwei mal über die Rolle des elektronischen Wegaufnehmers legen. Das Laststück muss bei eingeschobenem Stempel ca. 30 bis 40 cm hoch über der Experimentierfläche schweben. Die Angelschnur entsprechend kürzen.

Die beiden Sensor-CASSYs in die obere Schiene des CPS-Rahmens einsetzen und kaskadieren (direkt aneinander stecken). Die Analogeingänge des Sensor-CASSYs werden folgendermaßen belegt:

- Sensoreingang A1 über Experimentierkabel mit Spannungsausgang des CPS-Elektronischen-Wegaufnehmers verbinden
- Sensoreingang B1 über Temperatur-Box mit dem NiCr-Ni Temperaturfühler verbinden
- Sensoreingang A2 über Experimentierkabel mit dem Spannungsausgang des CPS-P/U-Wandlers verbinden

**Versuchsdurchführung**

a) Gesetz von Boyle-Mariotte (T = konst., p ~ 1/V)

- Einstellungen laden
- Dreiwegehahn öffnen
- Stempel des Kolbens bis zur 100 ml Marke herausziehen und Umlenkrolle bis kurz vor Linksanschlag drehen
- Volumen V = 725 ml kontrollieren, ggf. mit Justierschraube des CPS-Elektronischen-Wegaufnehmers einstellen
- Hahn so schließen, dass nur eine Verbindung vom Kolben zur Flasche besteht, weitere Luft also von außen nicht eindringen kann
- Erste Messwerte mit **F9** aufnehmen
- Stempel vorsichtig in 10 ml Intervallen hineinpressen und warten, bis sich die vorher gemessene Temperatur (Außentemperatur) wieder eingestellt hat
- Weitere Messwerte jeweils mit **F9** aufnehmen

b) Gesetz von Amontons (V = konst., p ~ T)

- Einstellungen laden
- Dreiwegehahn öffnen zur Belüftung der Woolfschen Flasche
- Hahn so schließen, dass keine Verbindung zur Flasche besteht
- Heizplatte und Magnetrührer einschalten
- Automatische Messung mit **F9** starten
- Bevor das Wasser im Becherglas zu sieden beginnt, Heizplatte abschalten und die Messung mit **F9** beenden

c) Gesetz von Gay-Lussac (p = konst., V ~ T)

- Einstellungen laden
- Heizplatte und Magnetrührer einschalten
- Bevor das Wasser im Becherglas zu sieden beginnt, Heizplatte ausschalten
- Dreiwegehahn öffnen
- Stempel des Kolbens bis zur 100 ml Marke herausziehen und Umlenkrolle bis kurz vor Linksanschlag drehen
- Volumen V = 725 ml kontrollieren, ggf. mit Justierschraube des CPS-Elektronischen-Wegaufnehmers einstellen
- Hahn so schließen, dass nur eine Verbindung vom Kolben zur Flasche besteht, weitere Luft also von außen nicht eindringen kann
- Erste Messwerte mit **F9** aufnehmen
- Stempel vorsichtig in 5 ml Intervallen hineinpressen und warten, bis sich der vorher gemessene Druck (Außendruck) wieder eingestellt hat
- Weitere Messwerte jeweils mit **F9** aufnehmen
- Messung beenden, sobald annähernd Außentemperatur erreicht ist

### Auswertung

Zur Auswertung der jeweiligen Experimente werden folgende Diagramme benutzt:

a) Isotherme Versuchsdurchführung (T = konst.): p(V)-Diagramm
b) Isochore Versuchsdurchführung (V = konst.): p(T)-Diagramm
c) Isobare Versuchsdurchführung (p = konst.): T(V)-Diagramm

Diese Diagramme sind in der Darstellung **Regression** (mit der Maus anklicken) bereits so skaliert vorbereitet, dass der Koordinaten-Nullpunkt sichtbar ist und im Auswertungsmenü (rechte Maustaste im Diagramm) eine der folgenden Anpassungen gewählt werden kann:

a) Isotherme Versuchsdurchführung (p ~ 1/V): Hyperbel 1/x
b) Isochore Versuchsdurchführung (p ~ T): Ausgleichs- oder Ursprungsgerade
c) Isobare Versuchsdurchführung (T ~ V): Ausgleichs- oder Ursprungsgerade

### Anmerkung

Die Skalierung in der Darstellung **Regression** beginnt jeweils mit dem Nullpunkt und ist auf einen großen Bereich gespreizt. Dadurch können markante Verläufe und Schnittpunkte besser erkannt und erläutert werden.

## Auftrennung eines Zweikomponentengemisches in der Rektifikationsapparatur CE2

❑ Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Die Rektifikationsapparatur gestattet die Trennung organischer Stoffsysteme, z. B. eines Gemisches aus Methanol und Ethanol im Verhältnis 1:1, und die Ermittlung der theoretischen Trennstufen bei totalem Stoffrückfluss.

Bei dem Versuch können 8 Temperaturen gemessen und vom Computer aufgezeichnet werden, gleichzeitig erfolgt eine Steuerung der Heizung.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 2 | Sensor-CASSYs | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 4 | Temperatur-Boxen | 524 045 |
| 8 | Temperaturfühler, NiCr-Ni | 666 193 |
| 1 | CPS-Spannungsversorgung, schaltbar | 666 471 |
| 1 | Rektifikationsapparatur CE2 | 661 311 |
| 1 | Rahmen CE2 | 661 301 |
| 1 | CPS-Netzverteiler | 665 497 |

1 Profilrahmen 666 425
1 Paar Kabel, 50 cm, rot und blau 501 45
1 PC ab Windows 95/98/NT

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Informationen zum Versuchsaufbau der Apparatur (siehe Skizze) finden Sie in der Literatur (668 921) und in der Gebrauchsanweisung zur Rektifikationsanlage. **Die Sicherheitshinweise in der Gebrauchsanweisung sind unbedingt zu beachten.**

Beide Sensor-CASSYs in die obere Schiene des CPS-Rahmens einsetzen und kaskadieren.

Auf die **Analogeingänge A1, B1, A2 und B2** werden Temperatur-Boxen aufgesteckt. Die Temperatur-Boxen werden mit jeweils 2 NiCr-Ni Temperaturfühlern verbunden. Die Temperaturfühler belegen in der Rektifikationsapparatur vom Sumpf der Kolonne aufsteigend bis zum Kolonnenkopf folgende Reihenfolge:

$\vartheta_{A11}$ (Sumpf); $\vartheta_{A12}$; $\vartheta_{B11}$; $\vartheta_{B12}$; $\vartheta_{A21}$; $\vartheta_{A22}$; $\vartheta_{B21}$; $\vartheta_{B22}$ (Kolonnenkopf)

Der **Spannungsausgang $S_1$** wird mit der CPS-Spannungsversorgung verbunden und der Drehknopf am CASSY ungefähr auf Mittelstellung gebracht. Die CPS-Spannungsversorgung dient als Anschluss des Heizpilzes. Dieser sollte so angesteuert werden, dass er bei einer bestimmten Temperatur $\vartheta_{A11}$ im Kolonnensumpf und nach einer gewissen Zeit t abschaltet. Diese Parameter können über eine Formeleingabe eingestellt werden. Dazu in den Einstellungen Relais/Spannungsquelle (rechte Maustaste auf $S_1$) das Formeleingabefeld benutzen.

Die voreingestellte Bedingung für Aktivierung lautet **&JA11 < 120 and t > 0 and t < 2:00:00**. Dieses bedeutet, dass solange die Temperatur $\vartheta_{A11}$ (&JA11) kleiner als 120 °C ist, mit der Messung begonnen wurde und die Zeit von 2 h noch nicht überschritten wurde, der Heizpilz eingeschaltet bleibt. Die Vorgaben können je nach Applikation korrigiert werden. Es ist darauf zu achten, dass diese Formeleingabe die Sicherheit des Experimentators erhöht.

Der **Relaisausgang $R_1$** steht noch zur Verfügung. Er kann z. B. für die Vakuumrektifikation CE 4/1 (661 332) eingesetzt werden um dort die Steuerung zu verfeinern.

**Kalibrierung**

Für genaue Messungen sollte das erste Mal und später in größeren Zeitabständen eine Kalibrierung der Temperaturfühler erfolgen:

❑ Einstellungen laden
- In Einstellungen $\vartheta_{A11}$ **Korrigieren** wählen
- Temperaturfühler $\vartheta_{A11}$ in Eiswasser (0 °C) eintauchen
- Als ersten Sollwert 0 eintragen und **Offset korrigieren**
- Temperaturfühler in kochendes Wasser (100 °C) eintauchen
- Als zweiten Sollwert 100 eintragen und **Faktor korrigieren**
- Auch die anderen 7 Temperaturfühler auf diese Weise kalibrieren
- Für eine spätere Verwendung kalibrierte Einstellungen mit **F2** unter einem neuen Namen abspeichern
- Sensor-CASSYs, Temperaturfühler und Temperatur-Boxen so markieren, dass sie später am gleichen Eingang wieder verwendet werden können (nur dann passt die gespeicherte Kalibrierung)

**Versuchsdurchführung**

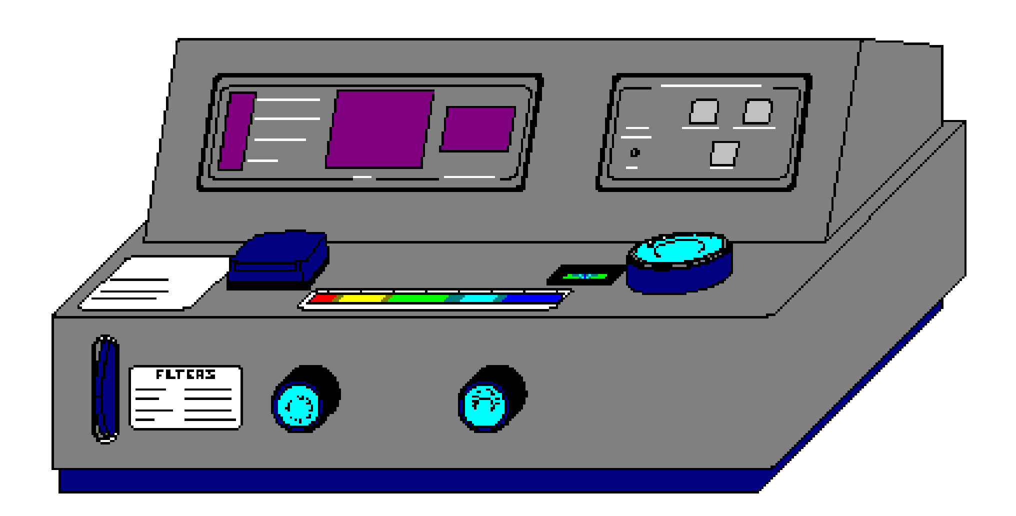
- Kühlwasser anschalten (Kryostat o. a.)
- Spannungsschalter des Heizpilzes einschalten
- Dichtigkeit prüfen
- Automatische Messung mit **F9** starten (Heizpilz wird automatisch zugeschaltet)
- Temperaturkonstanz abwarten
- Automatische Messung mit **F9** beenden
- Spannungsschalter des Heizpilzes ausschalten und Heizpilz absenken
- Nach Abkühlung des Kolonnensumpfes Kühlwasser abschalten

Probennahme und Auswertung sind in dem Buch: Thermische Trennverfahren Teil 2: Rektifikation (668 921) beschrieben.

**Versuchsergebnis**

Wichtig für den Experimentator ist das Erreichen der Temperaturkonstanz in der gesamten Kolonne. Ist diese erreicht, herrscht in der Apparatur der Gleichgewichtszustand und es können Proben entnommen werden. Beobachtet werden kann, dass auf den einzelnen Böden auf Grund der unterschiedlichen Zusammensetzung der Phasengemische unterschiedliche Temperaturen gemessen werden. Wie im Beispiel ersichtlich wird, nimmt die Temperatur vom unteren Boden zu den darüber befindlichen Böden ab. Da im obersten Boden die Dampfphase gemessen wird, liegt diese Temperatur erwartungsgemäß höher, als im Boden darunter.

## Aufnahme des Spektrums einer Rohchlorophyll-Lösung (mit dem Spektralphotometer 667 3491)




Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Zur Aufnahme des Spektrums wird die Transmission der Chlorophylllösung im Wellenlängenbereich von 360 bis 800 nm aufgenommen. Aus dem Spektrum lassen sich anschließend die Absorptionsmaxima der Blattfarbstoffe (das Wirkungsspektrum der Photosynthese) ermitteln.

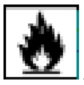
### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Digitales Spektralphotometer | 667 3491 |

### Zur Herstellung der Rohchlorophylllösung erforderlich:

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Mörser | 667 094 |
| 1 | Pistill | 667 095 |
| 1 | Erlenmeyer, 100 ml, SB 19 | 664 241 |
| 1 | Gummistopfen, SB 19 | 667 255 |
| 1 | Trichter | 602 670 |
| 1 | Rundfilter, d=110 mm, 100 St. | 661 034 |
| 1 | Seesand, gereinigt, 250 g | 674 820 |
| 1 | Aceton, 250 ml | 670 040 |

### Gefahrenhinweis

Aceton ist leicht entzündlich. Von Zündquellen fernhalten.

### Versuchsvorbereitung

- Getrocknete Brennnesselblätter (Tee) - alternativ frisches Gras oder andere Blätter - grob zerkleinern und in den Mörser geben.
- Etwas Seesand und zunächst nur wenig Aceton zugeben, so dass alles zu einer Art Brei zerrieben werden kann.
- Nach 1-2 Minuten Zerreiben zusätzlich ca. 10 bis 20 ml Aceton zugeben und umrühren.
- Die jetzt deutlich grün gefärbte Lösung mit Hilfe des Trichters und eines gefalteten Rundfilters in den Erlenmeyerkolben filtrieren.
  Falls der Versuch nicht sofort durchgeführt wird, den Erlenmeyerkolben mit der Rohchlorophylllösung verschlossen an einem dunklen Ort aufbewahren.
- Für den Versuch muss ein Teil der Lösung soweit verdünnt werden, dass die Transmission bei 605 nm über 0 % liegt.

- Das Digitale Spektralphotometer mit dem seriellen Kabel an den Computer anschließen und einschalten. Bedienungsanleitung des Gerätes beachten.
- Am Rechner das Programm CASSY Lab starten. Die verwendete serielle Schnittstelle und als angeschlossenes Gerät **Digitales Spektralphotometer (667 3491)** auswählen.

### Versuchsdurchführung

- Einstellungen laden
- Je eine Rundküvette zu etwa ¾ mit der Rohchlorophylllösung (Probenlösung) und der Referenzlösung (das reine Lösungsmittel, hier: Aceton) füllen.
- Am Spektralphotometer die Anfangswellenlänge von 340 nm einstellen.
  (Zur generellen Bedienung des Gerätes siehe die zugehörige Gebrauchsanweisung.)
- Mit der Referenzküvette den 100 %T-Abgleich durchführen, dann die Probenküvette einsetzen.
- Den angezeigten Messwert und die zugehörige Wellenlänge durch Drücken von **F9** (oder Anklicken des Uhrensymbols) übernehmen. Der Wert wird nun in der Tabelle und in der Grafik dargestellt.
- Die Messwellenlänge um 5 nm erhöhen und Abgleich sowie Messung erneut vornehmen.
- Nach Erreichen der Messwellenlänge von 800 nm die Messung beenden.

### Anmerkung

Bei den hier beschriebenen Messbedingungen dauert die Aufnahme der Messwerte etwa 1 Stunde. Die Messdauer kann verkürzt werden, indem nur alle 10 nm gemessen und/oder die Messung bereits bei 730 nm beendet wird.

### Auswertung

Die Darstellung des Spektrums kann sowohl als Transmission T wie auch als Absorption A = 100-T oder als Extinktion E = -log(T/100) erfolgen.

Deutlich erkennbar ist die starke Absorption (verringerte Transmission) im Bereich von 405 nm (blaues Licht) und 660 nm (rot-orange). Zur Ermittlung und Markierung lässt sich über das Auswertungsmenü (rechter Mausklick auf Grafik) als Markierung eine senkrechte Linie setzen. Mit Text lässt sich die markierte Wellenlänge an die Linie bzw. Kurve schreiben.

Durch die Absorption in diesen Teilen des sichtbaren Lichtspektrums tritt der übrige Teil bei der Reflexion (Blattoberfläche) oder in der Durchsicht (Lösung) stärker hervor. Dieser Teil um ca. 550 nm entspricht dem grünen Anteil des Lichtes, was der Grund ist, warum eine Chlorophylllösung grün erscheint und Blätter ebenfalls grün sind.

Durch Einstrahlung in den Absorptionsmaxima erhält man auch die höchste Photosyntheseleistung, d. h. der Kurvenverlauf der Absorption bzw. Extinktion stellt das Wirkungsspektrum der Photosynthese dar.

Genauer betrachtet ist dieses Spektrum eine Überlagerung dreier Einzelspektren: dem von Chlorophyll a, Chlorophyll b und β-Carotin. Eine Auftrennung der einzelnen Blattfarbstoffe ist z. B. dünnschichtchromatographisch möglich.

### Weitere Versuchsmöglichkeiten

- Neben Chlorophyll können auch Spektren von beliebigen anderen farbigen Lösungen untersucht werden.
- Zur schnelleren Durchführung der Messung kann auch eine etwas gröbere Auflösung (z. B. in 10 nm - Schritten) und ein anderer Wellenlängenbereich gewählt werden.
- Eine wesentlich schnellere und komfortablere Aufnahme von Spektren ermöglicht das Diodenarray-Photometer (667 347).
- Die Abhängigkeit der Transmission und Extinktion von der Konzentration lässt sich durch Messung einer Konzentrationsreihe von z. B. einer Kupfersulfat-Lösung im Absorptionsmaximum zeigen.
- Für kinetische Untersuchen (z. B. der Entfärbung von Kristallviolett) wird im Absorptionsmaximum gegen die Zeit gemessen. Über die Möglichkeiten der Formeleingabe und entsprechende Darstellungen und Auswertungen können sowohl die Reaktionsordnung als auch die Geschwindigkeitskonstante für die Reaktion ermittelt werden.

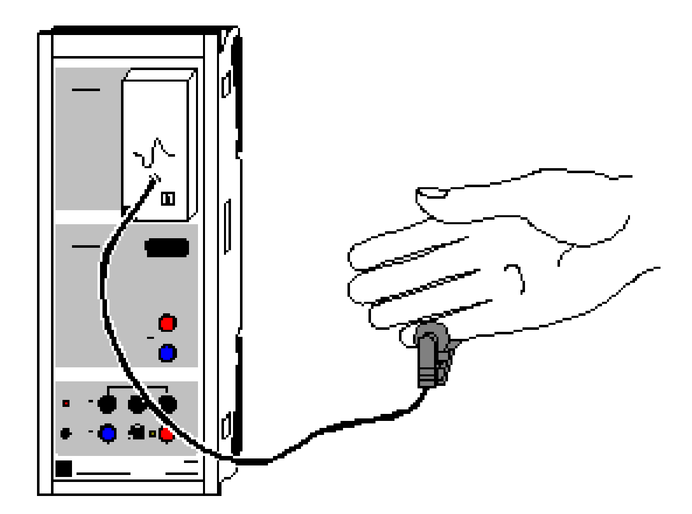


## Versuchsbeispiele Biologie

Die Versuchsbeispiele helfen Ihnen beim Einsatz von CASSY Lab. Die Messdaten oder Einstellungen der Beispiele können direkt in CASSY Lab geladen werden. Klicken Sie einfach auf die -Zeichen in den Beschreibungen. Neue Beispiele sind mit einem roten • gekennzeichnet.

- Puls
- Hautwiderstand
- Elektrokardiogramm
- Elektromyogramm
- Blutdruck
- Reaktionszeit
- Lungenvolumen (Spirometrie)
- Langzeitmessung von Klimadaten

## Puls



❑ Beispiel laden

**Sicherheitshinweis**

Die ermittelten Werte und Kurven haben keine medizinische Aussagekraft und dienen nicht zur Kontrolle des Gesundheitszustandes des Menschen.

Die Puls-Box darf nur in Übereinstimmung mit der Gebrauchsanweisung betrieben werden.

### Versuchsbeschreibung

Das pulsierende Blut verändert die optischen Eigenschaften des menschlichen Körpers. Dadurch ermittelt CASSY mit der Puls-Box die Pulsfrequenz. Es wird die Veränderung der Pulsfrequenz aufgenommen (z. B. während körperlicher Anstrengung) oder die Ruhepulsfrequenz zwischen trainierten und untrainierten Probanden verglichen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Puls-Box | 524 047 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsvorbereitung (siehe Skizze)

Der Pulsaufnehmer der Puls-Box an Eingang A des Sensor-CASSYs wird an einer stark durchbluteten Stelle des Körpers angebracht, wie z. B. an der Nagelwurzel des kleinen Fingers. Der Sensor soll während der Messung nicht mehr bewegt werden, da es sonst zu Fehlmessungen kommen kann.

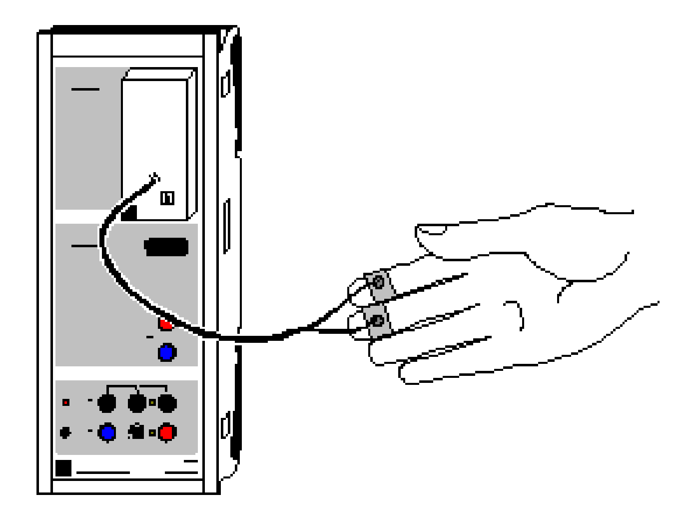
### Versuchsdurchführung

❑ Einstellungen laden
- Stabile Pulswerte im Fenster PA1 abwarten (Box passt sich der Signalstärke an)
- Messung mit **F9** starten
- Evtl. Abhängigkeiten der Pulskurve von körperlicher Anstrengung (Kniebeugen) untersuchen
- Messung mit **F9** beenden
- Messung kann mit veränderten Faktoren oder anderen Versuchspersonen wiederholt werden. Dazu wieder stabile Pulswerte abwarten und Messung erneut mit **F9** starten

### Auswertung

Die durchschnittliche Pulsfrequenz kann durch die Bildung des Mittelwertes aus der Messkurve bestimmt werden. Dazu mit rechter Maustaste auf das Diagramm klicken, **Mittelwert einzeichnen** anklicken und den gewünschten Kurvenbereich markieren. Der Wert erscheint in der Statuszeile links unten und kann als Text an eine beliebige Stelle im Diagramm eingetragen werden.

## Hautwiderstand



Beispiel laden

**Sicherheitshinweis**

Die ermittelten Werte und Kurven haben keine medizinische Aussagekraft und dienen nicht zur Kontrolle des Gesundheitszustandes des Menschen.

Die Hautwiderstands-Box darf nur in Übereinstimmung mit der Gebrauchsanweisung betrieben werden.

### Versuchsbeschreibung

Der Hautwiderstand R verändert sich in Abhängigkeit von äußeren Faktoren. Es kann z. B. der Einfluss von autogenem Training oder einem schreckhaften Ereignis untersucht werden. Dargestellt wird immer der Hautleitwert G=1/R (größere Werte entsprechen einem kleineren Widerstand).

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Hautwiderstands-Box | 524 048 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsvorbereitung (siehe Skizze)

Die Hautwiderstands-Box wird an Eingang A des Sensor-CASSYs aufgesteckt und ihre Elektroden fest an die Unterseite der Fingerkuppen des Zeige- und Mittelfingers des Probanden mit den Klettbändern befestigt. Die Hand sollte hierbei ruhig auf einer Unterlage liegen.

### Versuchsdurchführung

Einstellungen laden

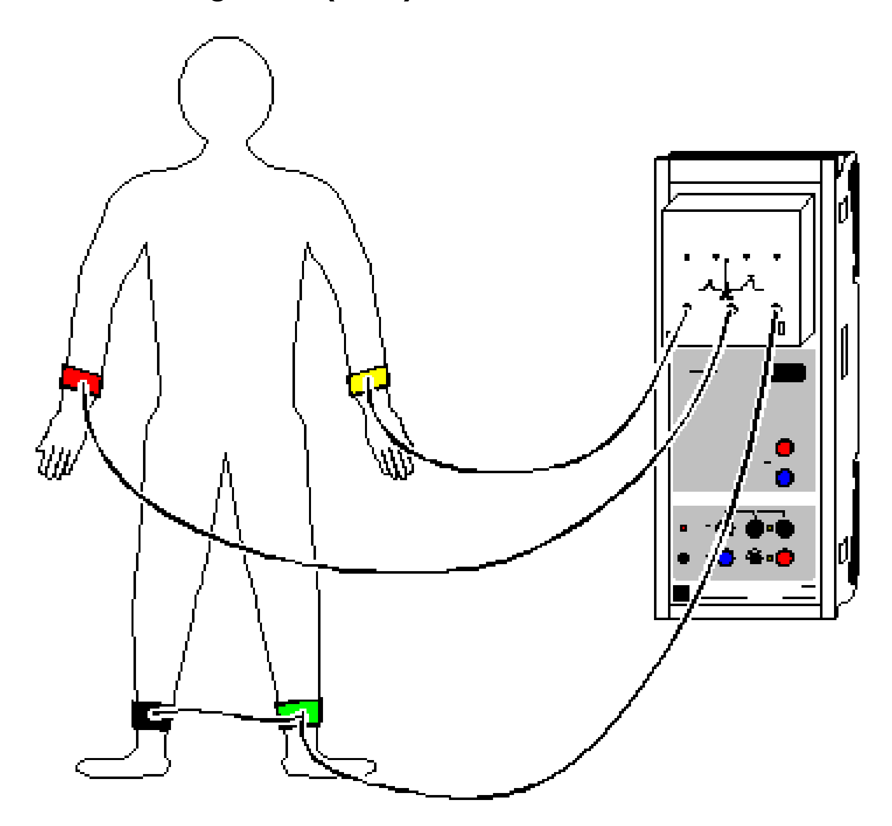
- Messbereich in den Einstellungen Hautleitwert $G_{A1}$ oder y-Achse des Diagramms mit der Maus so verschieben, dass der angezeigte Hautleitwert $G_{A1}$ etwa in der Mitte liegt (notfalls nach rechtem Mausklick auf y-Achse Werte über Tastatur eingeben)
- Messung mit **F9** starten
- Evtl. Abhängigkeiten der Hautleitwertkurve von autogenem Training oder einem schreckhaften Ereignis (z. B. durch Klatschen in die Hände) mit anschließender bewusster Beruhigung untersuchen
- Messung mit **F9** beenden
- Messung kann mit veränderten Faktoren oder anderen Probanden wiederholt werden. Dazu wieder y-Achse anpassen und Messung erneut mit **F9** starten

**Auswertung**

Im Diagramm ist ersichtlich, wie sich der Hautleitwert unter Einwirkung äußerer Faktoren verändert.

Die durchschnittliche Hautleitwert kann durch die Bildung des Mittelwertes aus der Messkurve bestimmt werden. Dazu mit rechter Maustaste auf das Diagramm klicken, **Mittelwert einzeichnen** anklicken und den gewünschten Kurvenbereich markieren. Der Wert erscheint in der Statuszeile links unten und kann als Text an eine beliebige Stelle im Diagramm eingetragen werden.

## Elektrokardiogramm (EKG)



Beispiel laden

### Sicherheitshinweis

Die ermittelten Werte und Diagramme haben keine medizinische Aussagekraft und dienen nicht zur Kontrolle des Gesundheitszustandes des Menschen.

Die EKG/EMG-Box darf nur in Übereinstimmung mit der Gebrauchsanweisung betrieben werden.

### Versuchsbeschreibung

Bei jeder Erregung des Herzmuskels entstehen elektrische Spannungsänderungen, die sich von Herzmuskelzelle zu Herzmuskelzelle ausbreiten. Aufgrund der großen Zahl von Zellen kann man die entstehenden Spannungen durch am Körper angelegte Elektroden abgreifen und nach Verstärkung in Form von Diagrammen sichtbar machen kann. Bei dem Elektrokardiogramm werden die Extremitätenableitung nach Einthoven verwendet (I, II, III).

Die Elektroden messen die Potentialänderungen (Spannungsänderungen) wenn die verschiedenen Kammern des Herzens kontrahieren. Die Herzmuskelzellen sind in Ruhe polarisiert, d. h. es gibt einen sehr kleinen Potentialunterschied zwischen der inneren Seite der Zellmembran und der Äußeren. Die Herzmuskelzellen können ohne einen Einfluss von außen depolarisieren, d. h. spontan. Die Gruppe von Zellen, die als erste depolarisieren stellen den sogenannten "Schrittmacher" (Sinusknoten) dar. Dieser Knoten liegt im rechten Vorhof (Atrium) des Herzens. Die beiden Vorkammern kontrahieren durch eine hohe Geschwindigkeit der Reizleitung zwischen den Zellen fast gleichzeitig.

Die Hauptkammern (Ventrikel) des Herzens sind von den Atrien elektrisch isoliert. Nur an einer Stelle sitzt eine Gruppe von Zellen (Atrioventrikularknoten) die das elektrische Signal der Atriumkontraktion an die Hauptkammern weiterleitet. Durch eine geringfügige Verzögerung der Erregungsübertragung wird sichergestellt, dass die Hauptkammern nicht zusammen mit den Vorkammern kontrahieren und das Blut genug Zeit hat aus den Atrien in die Ventrikel zu fließen.

Der Atrioventrikularknoten überträgt die Depolarisation über spezielle Fasern (His-Bündel) auf die Ventrikel. In der muskulösen Wand der Ventrikel finden sich andere Fasern (Purkinje-Fasern), die für eine sehr schnelle Reizleitung sorgen. So wird sichergestellt, dass sich die Ventrikel gleichzeitig und vollständig kontrahieren.

Die Depolarisation, Kontraktion und anschließende Repolarisation der Herzmuskelzellen ist ein sich stetig wiederholender Prozess der durch die unmittelbare Nachbarschaft von polarisierten und nicht polarisierten Zellen kleine Ströme fließen lässt. Die Änderung der Ströme können von außen gemessen, verstärkt und gegen die Zeit aufgetragen werden. Das EKG ist die grafische Darstellung der gemessenen elektrischen Ströme.

**Benötigte Geräte**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | EKG/EMG-Box | 524 049 |
| 1 | Elektrodengel | 662 112 |
| 1 | Desinfektionsspray | 662 113 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

**Versuchsvorbereitung (siehe Skizze)**

Der Proband soll sich in einer ruhigen und entspannten Lage befinden, da sonst durch Überlagerung des EKG-Signals mit den elektrischen Potentialen der Skelettmuskulatur die Messung verfälscht wird. Die Elektroden werden zur Verminderung des Hautwiderstandes mit Elektrodengel (662 112) bestrichen und mit den Gummibändern an den entsprechenden Körperstellen befestigt. Anschließend werden die Kabel wie folgt an die Elektroden angeschlossen:

| | |
|---|---|
| rot | rechter Arm |
| gelb | linker Arm |
| grün | linke Wade |
| schwarz | rechte Wade |

**Wichtig**

Die Elektroden nach jeder Benutzung mit einem Papiertuch o. ä. reinigen, da sich sonst durch Eintrocknen des Gels eine Salzschicht bildet. Anschließend die Elektroden und die entsprechenden Hautstellen aus hygienischen Gründen mit Desinfektionsspray (662 113) behandeln.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Messung mit **F9** starten
- Es werden gleichzeitig die drei Ableitungen nach Einthoven aufgezeichnet
- Messung mit **F9** stoppen

**Auswertung**

Zur Auswertung sollte der besseren Übersichtlichkeit halber zuerst ein Teil der Darstellung mit der Zoomfunktion vergrößert werden.

Ein typischer Teil eines EKG ist eine flache Linie, die isoelektrische Linie. Abweichungen hiervon beruhen auf der elektrischen Aktivität des Herzmuskels.

Die erste Abweichung von dieser Linie in einem typischen EKG ist ein kleiner Ausschlag nach oben. Die P-Welle dauert ca. 0,05 Sekunden. Zur Auswertung können jeweils eine senkrechte Linie zu Beginn und eine am Ende der P-Welle gesetzt werden. Die Dauer kann durch eine Differenzmessung zwischen beiden Linien ermittelt werden. Die P-Welle basiert auf der Depolarisation und Kontraktion der Vorkammern.

Im Anschluss kehrt das EKG zur isoelektrischen Linie zurück. In dieser Zeit überträgt der Atrioventrikularknoten die Erregung über das His-Bündel und die Purkinje-Fasern auf die Ventrikel. Die Depolarisation des AV-Knotens führt zu einem kleinen Abwärtspuls, der Q-Welle. Direkt danach erfolgt ein schneller Anstieg (R-Welle) mit anschließendem Abfall unter die isoelektrische Linie (S-Welle) und der Rückkehr auf den Ausgangswert. Diese drei Wellen nennt man den QRS-Komplex, der durch die Depolarisation und Kontraktion der Hauptkammern zustande kommt.

Nach einer weiteren Pause repolarisieren die Zellen wieder. Der hierbei auftretende Stromfluss bewirkt eine aufwärts gerichtete Welle, die T-Welle.

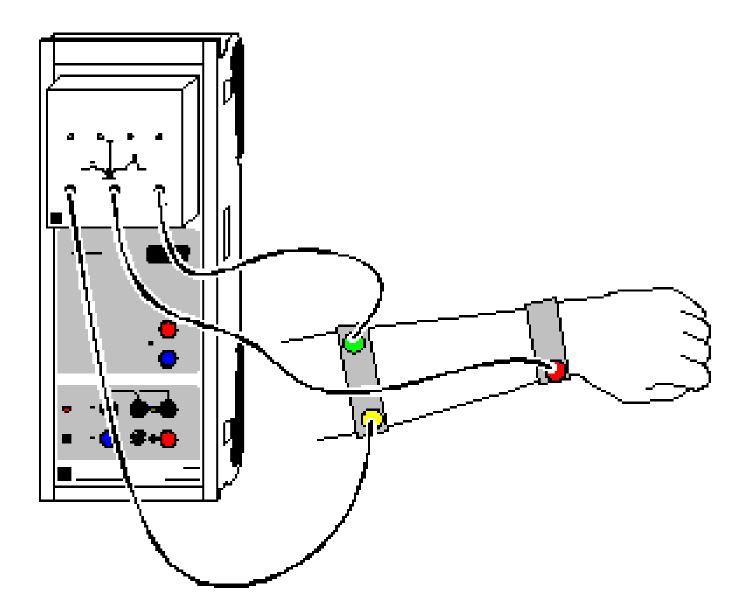
Die Sequenz von P über QRS zu T stellt einen Zyklus des Herzens dar. Die Anzahl der Zyklen pro Minute entspricht dem Pulsschlag.

**Weitere Versuchsvorschläge**

- Aufzeichnen eines EKGs vor und nach Belastung (z. B. Laufen auf der Stelle)
- Statistik zur Dauer der einzelnen Abschnitte über alle Praktikumsteilnehmer
- Unterschiede zwischen Frauen und Männern



## Elektromyogramm (EMG)



Beispiel laden

**Sicherheitshinweis**

Die ermittelten Werte und Diagramme haben keine medizinische Aussagekraft und dienen nicht zur Kontrolle des Gesundheitszustandes des Menschen.

Die EKG/EMG-Box darf nur in Übereinstimmung mit der Gebrauchsanweisung betrieben werden.

### Versuchsbeschreibung

Es werden elektrische Potentiale von aktivierten Muskeln gemessen, indem in der Nähe der Muskeln Oberflächenelektroden angebracht werden.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | EKG/EMG-Box | 524 049 |
| 1 | Elektrodengel | 662 112 |
| 1 | Desinfektionssppray | 662 113 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsvorbereitung (siehe Skizze)

Zur Aufnahme einer EMG-Kurve der Fingermuskulatur werden die Elektroden am Anfang und am Ende des Muskels auf der Unterseite eines Unterarms befestigt und die Bezugselektrode auf der gegenüberliegenden Seite der Muskelgruppe, hier also auf der Oberseite des Unterarms. Die Elektroden sind wie folgt anzuschließen:

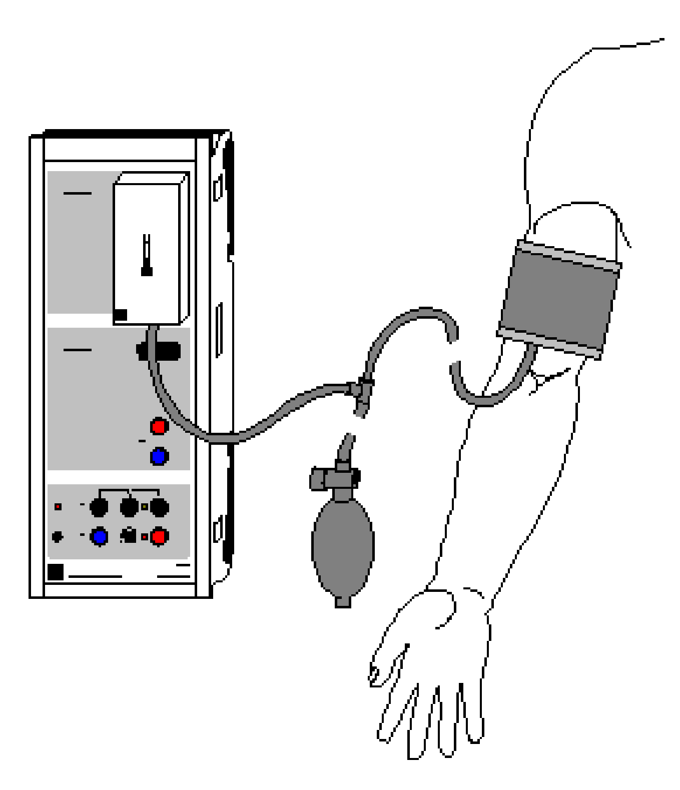
| | |
|---|---|
| rot | Muskelanfang Unterseite Unterarm |
| gelb | Muskelende Unterseite Unterarm |
| grün | Bezugselektrode Oberseite Unterarm |

### Versuchsdurchführung

Einstellungen laden

- Messung mit **F9** starten
- Während der Aufnahme der EMG-Kurve ballt die Versuchsperson die Hand zur Faust und öffnet sie anschließend wieder. Diesen Vorgang mehrfach wiederholen
- Messung mit **F9** stoppen

## Blutdruck



Beispiel laden

**Sicherheitshinweis**

Die ermittelten Werte und Kurven haben keine medizinische Aussagekraft und dienen nicht zur Kontrolle des Gesundheitszustandes des Menschen.

Die Blutdruck-Box darf nur in Übereinstimmung mit der Gebrauchsanweisung betrieben werden.

### Versuchsbeschreibung

Der Druck an der Manschette sowie die Druckschwankungen an der Manschette werden mit der Blutdruck-Box gemessen (oszillometrische Blutdruckmessung). Hieraus lassen sich Diastole und Systole ermitteln.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Blutdruck-Box | 524 050 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsvorbereitung (siehe Skizze)

Die Manschette mit Ventil und Pumpball wird an die Blutdruck-Box auf Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen. Das Ventil an dem Pumpball sollte etwa halb geöffnet sein (Mitte zwischen den beiden Anschlägen der Ventilschraube). Die mit dem Ventil einstellbare Ablassrate sollte bei 2-3 mm Hg pro Pulsschlag liegen. Höhere Ablassraten verschlechtern die Auswertung, da weniger signifikante Maxima aufgezeichnet werden. Eine Messung mit vollständig geöffnetem Ventil wird diese mögliche Fehlbedienung verdeutlichen.

Die Manschette wird über den unbekleideten linken Oberarm gestreift, bis der untere Manschettenrand ca. 2-3 cm oberhalb der Ellenbeuge abschließt. Achten Sie darauf, dass der Manschettenschlauch auf der Innenseite des Oberarmes im Bereich der Arterie (in Richtung der Hand) aus der Manschette austritt. Der Metallbügel darf nicht über der Arterie liegen, da sonst die Blutdruckkurve verfälscht werden kann. Nachdem das freie Manschettenende nach außen über den Arm geschlagen

wurde, wird die Manschette mit dem Klettverschluss fixiert. Die Manschette sollte straff um den Oberarm liegen, darf jedoch vor dem Aufpumpen keinen Druck auf die Arterie ausüben. Der Arm sollte während der Messung entspannt und leicht abgewinkelt auf dem Tisch liegen.

### Versuchsdurchführung

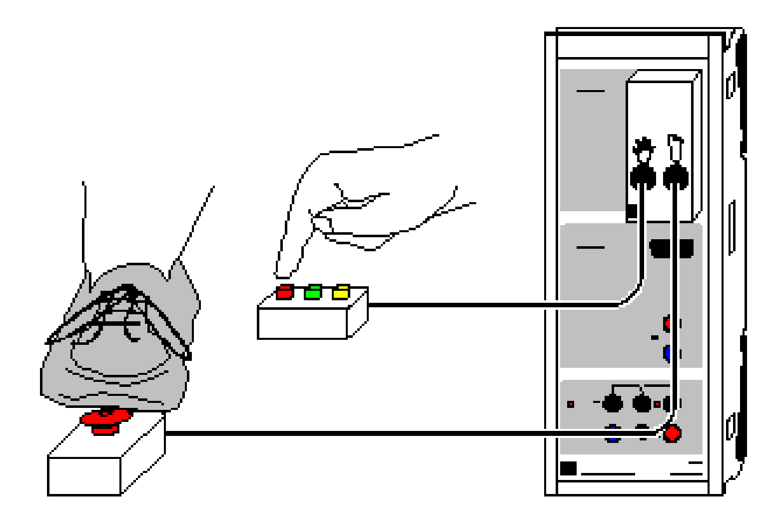
- Einstellungen laden
- Evtl. Nullpunkt des angezeigten Drucks korrigieren. Dazu Einstellungen Blutdruck $p_{A1}$ aufrufen und → 0 ← wählen
- Manschette mit dem Pumpball bis ca. 180 mmHg (je nach vermutetem systolischen Wert) aufpumpen. Der ansteigende Manschettendruck wird angezeigt.
- Messung mit **F9** starten
- Während der Messung Arm nicht bewegen. Die Amplitude der Oszillationen nimmt im Laufe der Messung zu (nach Unterschreiten der Systole) und wieder ab (nach Unterschreiten der Diastole).
- Bleibt die Amplitude der Oszillation danach mehrmals konstant, Messung mit **F9** stoppen
- Durch Drücken des roten Knopfes am Handventil, Manschette nun vollständig belüften
- Zwischen aufeinanderfolgenden Messungen am gleichen Probanden eine Pause von mindestens 2 Minuten einlegen

### Auswertung

Bei suprasystolischen Manschettendrücken bestehen nur kleine Druckschwankungen, die durch Anschlagen des Pulses an den komprimierten Arterienabschnitt verursacht werden. In dem Augenblick, in dem der systolische Druck unterschritten wird und eine kurze systolische Öffnung der Arterie eintritt, nehmen die Oszillationen zu und erreichen ein Maximum beim mittleren arteriellen Blutdruck (entspricht dem arithmetrischen Mitteldruck). Der diastolische Blutdruck entspricht dem Punkt, an dem die Oszillationen aufhöhren abzunehmen, d. h. wenn auch während der gesamten Diastole die Gefäße geöffnet sind. Die verbleibenden Druckschwankungen entstehen durch die auf die Manschette übertragenen Pulsschläge.

Zur Berechnung von Systole und Diastole mit rechter Maustaste auf das Diagramm klicken, in den weiteren Auswertungen **Systole und Diastole bestimmen** anklicken und die gesamte Kurve markieren. Die Werte für Systole und Diastole erscheinen in der Statuszeile links unten und können als Text an eine beliebige Stelle im Diagramm eingetragen werden.

## Reaktionszeit



❑ Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Die Reaktionszeit wird mit der Reaktionstest-Box und dem Handtaster und/oder dem Fußtaster bestimmt. Die Leitungsgeschwindigkeit der Nervenimpulse kann dann rechnerisch ermittelt werden.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Reaktionstest-Box | 524 046 |
| 1 | Handtaster | 662 148 |
| | und/oder | |
| 1 | Fußtaster | 662 149 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsvorbereitung (siehe Skizze)

Der Handtaster oder Fußtaster wird an die Reaktionstest-Box auf Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen. Der Proband soll ruhig und entspannt sein. Zur Bestimmung der Reaktionszeit mit der Hand, soll die Hand des Probanden neben dem Handtaster auf dem Tisch liegen. Zur Bestimmung der Reaktionszeit mit dem Fuß, soll der Fuß neben dem Fußtaster auf Boden stehen.

### Versuchsdurchführung

❑ Einstellungen laden
- Messreihe mit **F9** starten
- Nach einer zufälligen Zeit nach Druck einer beliebigen Taste des Handtasters oder Fußtasters, erscheint der Zeiger in der Farbe rot, grün oder gelb (Fußtaster immer rot). Zur Reaktion muss jetzt möglichst schnell der Taster entsprechend der Zeigerfarbe betätigt werden. Die gemessene Reaktionszeit erscheint im Anzeigeinstrument, der Tabelle und im Diagramm.
- Gewünschte Anzahl von Reaktionszeiten (10 bis 20) auf gleiche Weise aufnehmen
- Messreihe mit **F9** beenden
- Weitere Messreihen können mit anderen Probanden oder Reaktionen (z. B. mit Hand auf Fußtaster statt Fuß auf Fußtaster zur Ermittlung der Nervenleitungsgeschwindigkeit) mit **F9** gestartet werden

### Auswertung

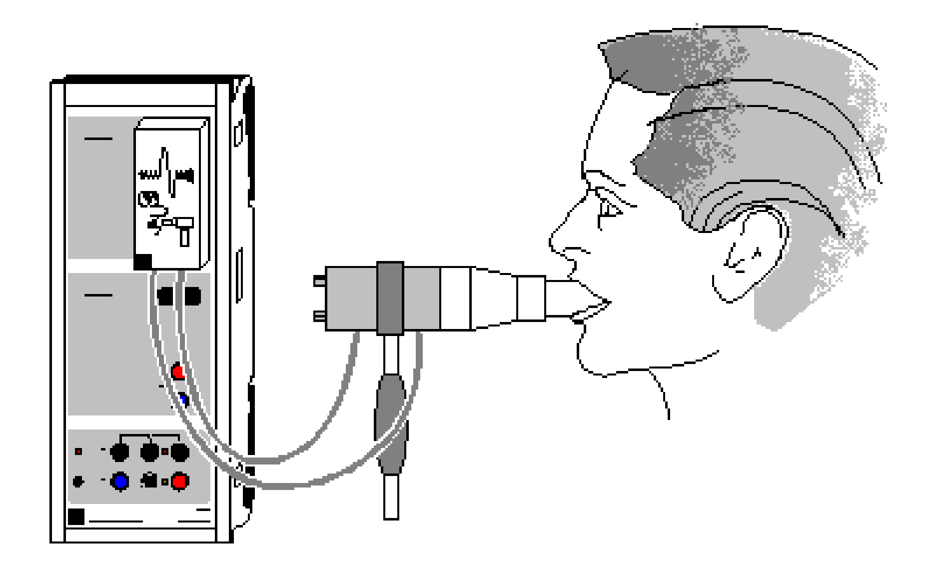
Die durchschnittliche Reaktionszeit kann durch die Bildung des Mittelwertes aus der Messkurve bestimmt werden. Dazu mit rechter Maustaste auf das Diagramm klicken, **Mittelwert einzeichnen** anklicken und den gewünschten Kurvenbereich markieren. Der Wert erscheint in der Statuszeile links unten und kann als Text an eine beliebige Stelle im Diagramm eingetragen werden.

Zur Ermittlung der Nervenleitungsgeschwindigkeit muss die Längendifferenz der zuleitenden Nervenbahnen bestimmt werden, indem man zunächst von der Wirbelsäule in Höhe des Schultergelenks die Länge bis zur Mitte des Oberarms misst. Danach wird vom selben Ausgangspunkt die Länge bis zur Mitte des Oberschenkels gemessen.

Die mittlere Leitungsgeschwindigkeit v errechnet sich als Quotient aus Längendifferenz (Fuß - Hand) und der Zeitdifferenz (Reaktionszeit Fuß - Reaktionszeit Hand) zu

v = ( l(Fuß) – l(Hand) ) / ( t(Fuß) – t(Hand) ).

## Lungenvolumen (Spirometrie)



Beispiel laden

**Sicherheitshinweis**

Die ermittelten Werte und Kurven haben keine medizinische Aussagekraft und dienen nicht zur Kontrolle des Gesundheitszustandes des Menschen.

Die Spirometer-Box darf nur in Übereinstimmung mit der Gebrauchsanweisung betrieben werden.

### Versuchsbeschreibung

Das Spirometer wird zur Bestimmung des Atemvolumens eingesetzt. Das Gerät arbeitet nach dem pneumotachographischen Prinzip und misst den Volumenfluss. Das Atemvolumen wird dann von CASSY Lab durch Integration ermittelt.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Spirometer-Box | 524 056 |
| 1 | Verbrauchsmaterial zum Spirometer | 662 381 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsvorbereitung (siehe Skizze)

Die Spirometer-Box wird auf Eingang A des Sensor-CASSYs ca. 10 min vor der Messung aufgesteckt (Aufwärmphase). Verwenden Sie bei jeder neuen Versuchsperson eine neues Pappmundstück und desinfizieren Sie die Siebe regelmäßig mit einem Desinfektionsmittel.

### Versuchsdurchführung

Einstellungen laden

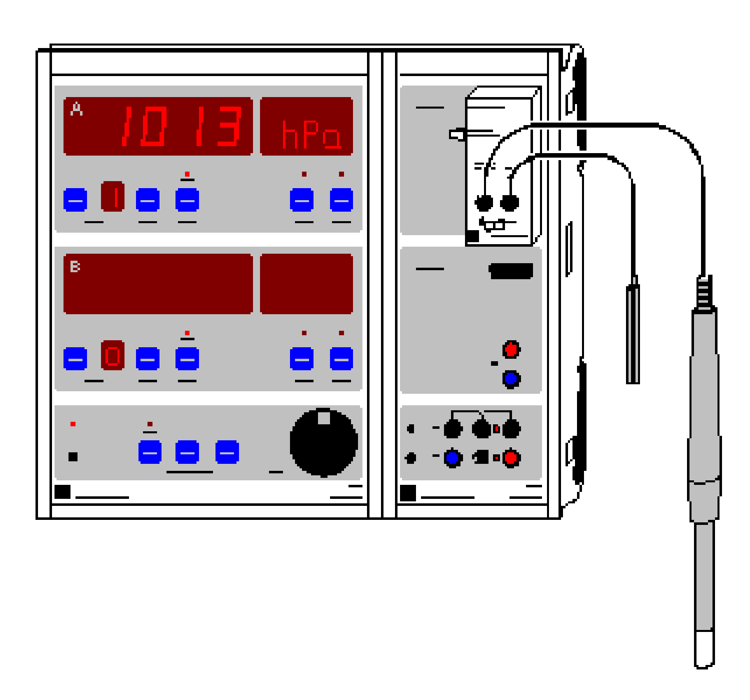
- Messreihe mit **F9** starten
- Nullpunkt des angezeigten Volumenflusses $dV_{A1}$ kompensieren. Dazu in Einstellungen Volumenfluss $dV_{A1}$ $\rightarrow 0 \leftarrow$ wählen und darauf achten, dass während dessen keine Luft durch das Spirometer strömt
- Messung möglichst bald danach **F9** starten (solange der thermische Fehler im Volumenfluss $dV_{A1}$ noch vernachlässigbar ist)
- Gleichmäßig 3 bis 4 mal durch das Spirometer ein- und ausatmen. Danach soviel Luft wie möglich durch das Spirometer aus- und wieder einatmen. Danach wieder gleichmäßig weiteratmen
- Messung mit **F9** beenden

### Auswertung

Das Atemzugvolumen V1 ist die Differenz zwischen Maximum und Minimum bei normaler Atmung. Es lässt sich z. B. durch waagerechte Markierungslinien oder durch eine direkte Differenzmessung ermitteln. Der Wert kann als Text an eine beliebige Stelle im Diagramm eingetragen werden.

Die Vitalkapazität V2 errechnet sich aus der Summe von inspiratorischen und expiratorischen Reservevolumen und Atemzugvolumen. Es kann analog zum Atemzugvolumen aus dem Maximum und Minimum bei maximaler Inspiration bzw. Exspiration ermittelt werden.

## Langzeitmessung von Klimadaten




❑ Beispiel laden

### Versuchsbeschreibung

Es werden über längere Zeit die Klimamesswerte Feuchte $rH_{A1}$ und Lufttemperatur $T_{A11}$ (im Feuchtesensor integriert), Luftdruck $p_{A1}$ (in der Klima-Box integriert) und Beleuchtungsstärke $E_{A1}$ (Helligkeit) mit CASSY-Display und Sensor-CASSY (also ohne Computer) gemessen. Die Messwerttabelle kann zwischendurch oder am Ende der Messung mit einem Computer und dem Programm CASSY Lab ausgelesen und ausgewertet werden.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | CASSY-Display | 524 020 |
| 1 | Sensor-CASSY | 524 010 |
| 1 | CASSY Lab | 524 200 |
| 1 | Klima-Box | 524 057 |
| 1 | Feuchtesensor | 529 057 |
| 1 | Lux-Sensor | 666 243 |
| 1 | PC ab Windows 95/98/NT | |

### Versuchsvorbereitung (siehe Skizze)

Die Geräte werden an einem geschützten Ort aufgestellt, an dem eine Spannungsversorgung vorhanden ist. Alternativ kann auch ein 12 V-Akkumulator ausreichender Kapazität (> 6 Ah) zur Spannungsversorgung benutzt werden.

### Versuchsdurchführung

- **Feuchtesensor kalibrieren** (nur das erste Mal erforderlich)
  Dazu Sensor-CASSY mit Klima-Box direkt an den PC anschließen, in CASSY Lab die Klima-Box aktivieren, **Korrigieren** wählen, die vier aufgedruckten Zahlen C1 bis C4 eingeben und mit **OK** bestätigen. Danach Sensor-CASSY wieder an das CASSY-Display anschließen.
- **Einstellung und Start des Datenloggers**
  Drückt man die Taste **START/STOP**, erscheint in der oberen Anzeige "CLR?" (Anhängen neuer Werte möglich) oder "CLR!" (Anhängen neuer Werte nicht möglich) und in der unteren Anzeige die Voreinstellung "NO". Durch Drehen an **ADJUST** kann man zwischen "NO" und "YES" wechseln und durch einen erneuten Druck auf **START/STOP** bestätigen. Danach kann man mit **ADJUST** das

Zeitintervall einstellen, in dem Messwerte gespeichert werden sollen und wieder mit **START/STOP** bestätigen. Dann läuft der Datenlogger (die LED über **START/STOP** leuchtet nun kontinuierlich).

- **Ansehen der Messwerte im Datenlogger**
  Wählt man **SHOW**, so kann man sich mit **ADJUST** alle gespeicherten Messwerte im Display anschauen. Der Datenloggerbetrieb ist dabei vorübergehend ausgeschaltet (die LED über **START/STOP** blinkt). Durch erneutes Drücken von **SHOW** wird die Messung fortgesetzt.
- **Stromsparmodus des CASSY-Displays aktivieren**
  Bei längeren Messzeiten ist es möglich, während der Messung durch Ausschalten der Anzeige des CASSY-Displays den Stromsparmodus zu aktivieren. Dazu wählt man auf beiden Anzeigen durch die Taste **NEXT** das CASSY mit der Nummer 0. Die Anzeigen erlöschen und das Sensor-CASSY wird abgeschaltet. Für jede neue Messung werden die Geräte für kurze Zeit wieder eingeschaltet.

**Auswertung**

CASSY-Display wird an einen Computer mit CASSY Lab angeschlossen und die Daten ausgelesen. Dabei kann das CASSY-Display auch ohne Spannungsversorgung zum Computer transportiert werden (die Messwerte bleiben dabei erhalten). Im Kommentarfeld wird der Start der Messung automatisch eingetragen.

Das Beispiel zeigt eine Messreihe des Klimas von Hannover in der Zeit vom 15.12.2000 bis zum 23.2.2001 bei halbstündigem Messintervall.

Die maximale Anzahl der Messwerte ist abhängig von der Anzahl der gemessenen Größen. Im vorliegenden Beispiel sind insgesamt etwa 5000 Messwertzeilen möglich. Das entspricht einer maximalen Messdauer von etwa 100 Tagen.

**Hinweis**

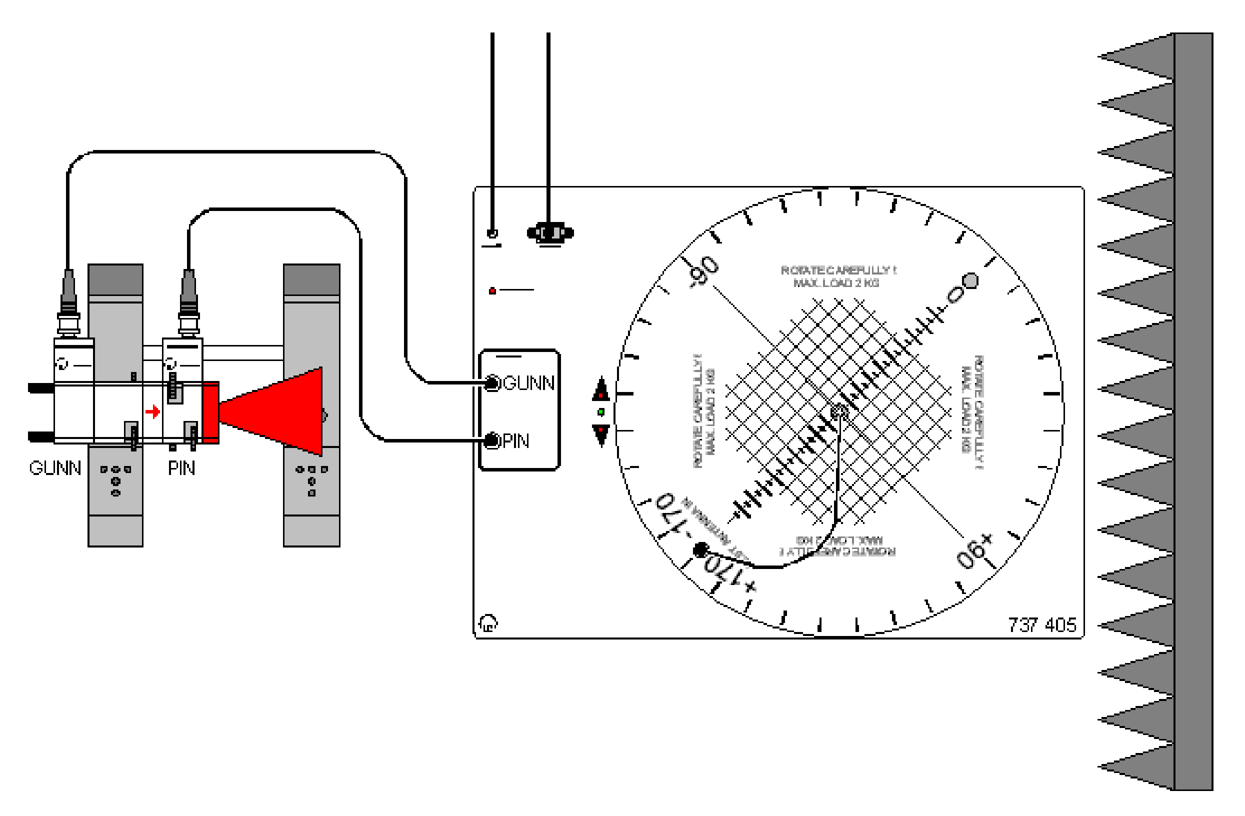
Zum störungsfreien Betrieb des CASSY-Displays sollte dieses eine Firmware ab Version 1.08 haben. Erforderlichenfalls lässt sich das CASSY-Display von CASSY Lab auf den aktuellen Stand bringen. Dabei werden alle eventuell bereits gespeicherten Messdaten im CASSY-Display gelöscht.

## Versuchsbeispiele Technik

Die Versuchsbeispiele helfen Ihnen beim Einsatz von CASSY Lab. Gegebenenfalls ist die entsprechende Kennzeichnung mit angegeben. Die Messdaten oder Einstellungen der Beispiele können direkt in CASSY Lab geladen werden. Klicken Sie einfach auf die ■-Zeichen in den Beschreibungen.

- MTS 7.6 Antennentechnik

## Antennentechnik




Beispiel laden (horizontales Richtdiagramm eines λ/2-Dipols)

### Sicherheitshinweise

Bedingt durch die geringe Leistung des Gunn-Oszillators (ca. 10 mW) ist eine Gefährdung für die Experimentierenden bei Antennenversuchen ausgeschlossen. Im Hinblick auf den Umgang mit stärkeren HF-Quellen sollen aber folgende Regeln beachtet werden:

- Das direkte "Hineinschauen" in die strahlende Sendeantenne ist unbedingt zu vermeiden. Das gilt auch für freie Hohlleiterenden und Hornantennen.
- Bei Veränderungen am Versuchsaufbau, bei denen Hohlleiterkomponenten ausgetauscht werden, ist die Versorgungsspannung des Gunn-Oszillators abzuklemmen.

### Versuchsbeschreibung

Antennen dienen der Ausstrahlung oder dem Empfang elektromagnetischer Wellen. Sie müssen dazu die leitungsgeführte Welle der Speiseleitung in eine Freiraumwelle umsetzen. Antennen sind daher Übergangsstrukturen, die Leitungen und den freien Raum miteinander verbinden. Von großem Interesse sind die Strahlungseigenschaften einer Antenne, die je nach Einsatzzweck in Rundfunk, Richtfunk oder Radar sehr unterschiedlich sein können. Weit verbreitet sind z. B. Antennen mit starker Richtwirkung.

Es wird die Benutzung des Antennenmessplatzes MTS 7.6.1 mit dem Antennendrehtisch (737 405) erläutert. Am Beispiel einer λ/2- Dipolantenne wird die Aufnahme von Richtdiagrammen gezeigt. Für die Messungen an allen anderen Testantennen (Ausstattungen MTS 7.6.2 bis MTS 7.6.5) wird auf das Versuchshandbuch MTS 7.6 Antennentechnik (568 701) verwiesen. Zusätzliche Hinweise sind der Gebrauchsanweisung zu 737 405 zu entnehmen.

### Benötigte Geräte

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Antennendrehtisch | 737 405 |
| 1 | Gunn-Oszillator | 737 01 |
| 1 | Einwegleitung (empfehlenswert) | 737 06 |
| 1 | PIN-Modulator (empfehlenswert) | 737 05 |
| 1 | Große Hornantenne | 737 21 |

2 Stativfüße MF 301 21
1 Satz Noppenabsorber 737 390
1 Satz Dipolantennen 737411
1 PC ab Windows 95/98/NT

**Versuchsaufbau (siehe Skizze)**

Bauen Sie den Versuch nach Skizze auf. Benutzen Sie zum Aufstellen des Senders (Mikrowellenkomponenten) die mitgelieferten Stativstangen mit 345 mm Länge. Zusätzliche Hinweise siehe Gebrauchsanweisung zu 737 405. Die Entfernung $r_0$ zwischen der Quellen- und der Testantenne soll i.d.R. die Fernfeldbedingung erfüllen. Für Dipolantennen ist das ab $r_0$ > 100 cm meistens erfüllt. Der in den Einstellungen A zu findende Fernfeld-Rechner bestimmt nach Eingabe von $D_T$ (größte Quer- oder Längsabmessung der Testantenne) den Mindestabstand $r_0$ für den Übergang ins Fernfeld.

Testantenne (λ/2-Dipol) in die Zentralaufnahme für Steckachsen im Antennendrehtisch stecken, sodass die Achse ausgerichtet zu den markierten Referenzlinien auf dem Drehteller verläuft. Verbinden Sie die BNC-Ausgangsbuchse der Testantenne durch ein Koaxkabel mit der BNC-Buchse TEST ANTENNA IN im Drehteller. Stellen Sie die Antenne mit ihrer Hauptstrahlrichtung in die 0° Position. Schalten Sie den Antennendrehtisch durch Anschluss des Steckernetzteils ein. Der Drehtisch fährt in die Startposition -180°.

**Versuchsdurchführung**

- Einstellungen laden
- Falls noch nicht geschehen, den Antennendrehtisch als angeschlossenes Gerät auswählen. Dazu in den Allgemeinen Einstellungen den Antennendrehtisch auf die gewünschte Serielle Schnittstelle legen. Danach speichert **Neue Vorgaben abspeichern** diese Belegung ab.
- Wenn notwendig in den Einstellungen A die Einstellungen des Antennendrehtischs ändern. Bei Verwendung der Dipolantenne muss dort der Biasstrom eingeschaltet sein. Falls kein PIN-Modulator vorhanden ist muss auf Gunn-Modulation geschaltet werden.
- Messung durch **F9** (Stoppuhr) starten**.** Nach kurzer Pause läuft der Drehtisch in Vorwärtsrichtung an, wobei jetzt die eigentliche Messung des Richtdiagramms stattfindet. Der Drehtisch beginnt unmittelbar nach Erreichen des eingestellten Endwinkels den Rücklauf in die Startposition.
- In den Einstellungen A durch **Pegel normieren** A(ϑ) auf 1 normieren

**Auswertung**

Die Beispielmessung zeigt das horizontale Richtdiagramm eines λ/2-Dipols. In den Einstellungen A wurde das Maximum der Messkurve auf 0° ausgerichtet. Die schwarze Kurve zeigt die Messkurve und die rote Kurve das theoretische Richtdiagramm. Die theoretische Kurve wurde durch die Formel (cos ϑ)^2 berechnet.

**Anmerkungen**

- Die Symmetrieachse der Testantenne und der Mittelpunkt des Drehtellers müssen fluchten. Bei Antennen die in die Zentralaufnahme des Drehtellers gesteckt werden, ist das i. A. erfüllt. Es gibt jedoch auch Testantennen, die mit Hilfe von Stativmaterial montiert werden. Die Antenne muss dann sorgfältig über dem Mittelpunkt des Drehtellers ausgerichtet werden, damit beim Drehen keine exzentrischen Bewegungen auftreten (ergibt Asymmetrien der Richtdiagramme).
- Wenn die Hauptkeule der Testantenne im Richtdiagramm bei 0° liegen soll, dann muss die Testantenne mit ihrer Hauptstrahlrichtung auf 0° ausgerichtet werden und in die gleiche Richtung wie die Sendeantenne weisen. Sie "blickt" dann mit ihrer "Rückseite" zur anregenden Quellenantenne hinüber. Der Grund ist verfahrenstechnischer Natur: Die Hauptstrahlrichtung wird so in einem Durchlauf gemessen und nicht in 2 Hälften zerlegt. Umweltbedingte Systemveränderungen stören so die wichtige Region der Hauptkeule weniger.
- Je nach Testantenne kann die Messung mit unterschiedlich hoher Winkelauflösung durchgeführt werden. Grundsätzlich gilt: Komplizierte Antennen mit vielen oder engen Keulen müssen mit hoher Auflösung gemessen werden.
- Sie können den Messvorgang gleichzeitig auf den ein / ausblendbaren Messinstrumenten (z. B. für Winkel, Spannung und Pegel) und in der grafischen Darstellung beobachten. In der grafischen Darstellung baut sich das Richtdiagramm schrittweise auf (kartesische Koordinaten oder Polardiagramm mit frei wählbaren Achsen). Die Skalierung kann mit der linken Maustaste verschoben und mit der rechten Maustaste verändert werden.

- Das eigentliche Antennensignal A vor dem Detektor kann nicht direkt gemessen werden sondern nur der Spannungsabfall U, den der Detektorstrom am Messverstärker erzeugt. Im Allgemeinen ist U nicht proportional zu A, sondern

  $$U \propto A^m$$

  Der Exponent m beschreibt die Detektorcharakteristik. Wird das Antennensignal A in den Einstellungen A durch **Pegel normieren** A(ϑ) auf 1 normiert, dann gilt:

  $$A = \left(\frac{U}{U_{max}}\right)^{\frac{1}{m}}$$

  $$a = 20 \cdot \log(A)$$

  wobei $U_{max}$ die maximal gemessene Spannung U ist.

  Der Exponent m ist von der Leistung der einfallenden Mikrowellen abhängig. Im Bereich kleiner Leistungen ist m=2. Damit gilt dann:

  $$U \propto A^2$$

  Die Annahme des Quadratgesetzes für den Detektor gilt erfahrungsgemäss nur bei sehr kleinen Mikrowellenleistungen, bzw. Empfangsspannungen U < 5 mV. Das Antennenmesssystem erlaubt jedoch auch die Eingabe anderer Detektorcharakteristiken. Streng genommen muss die Gültigkeit der Kennlinienauswahl überprüft werden. Das setzt ein einstellbares Dämpfungsglied (737 09) voraus, mit dem das Antennensignal vor dem Detektor definiert abgeschwächt werden kann.

**Weitere Messbeispiele**

Messungen mit PIN-Modulator und Einwegleitung

- 1λ/2-Dipol, gute Übereinstimmung mit dem theoretisch zu erwartenden Ergebnis A~cos(ϑ)^2
- 2λ/2-Dipol
- 3λ/2-Dipol
- 4λ/2-Dipol
- Wendelantenne, rechtsdrehend
- Yagiantenne mit 4 Direktoren und 1 Reflektor
- Yagiantenne mit 1 Direktor und 1 Reflektor
- Yagiantenne mit 1 Direktor
- Yagiantenne mit 1 Reflektor
- Darstellung der elektronischen Strahlschwenkung (Phase Array) an der Hohlleiterschlitzantenne (737 424)

Messungen ohne PIN-Modulator, mit direkter Gunn-Modulation

- 1λ/2-Dipol, der kleinere Modulationsgrad bei direkter Modulation führt auf deutlich schwächere Empfangssignals und einen entsprechend verringerten Signal / Rauschabstand
- Wendelantenne, linksdrehend
- Yagiantenne mit 4 Direktoren und 1 Reflektor

# Stichwortverzeichnis

## —A—



## —B—



## —C—



## —D—



## —E—



## —F—



## —G—



## —H—





## —T—





## —U—





## —V—



## —W—





## —Z—

